

DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICAS EM EDIFÍCIOS

Projeto e análise de viabilidade económica

VÍTOR BRUNO MARQUES RIBEIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JANEIRO DE 2014

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2013/2014

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2012/2013 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais

Conhecimento é Poder

Francis Bacon

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos, por toda a disponibilidade, empenho e orientação dada no decorrer deste trabalho, como também pela sugestão do tema. Agradeço aos meus pais e familiares por toda a ajuda que me deram, permitindo a realização deste trabalho que sem eles não seria possível.

RESUMO

Os sistemas solares térmicos têm vindo a sofrer um desenvolvimento ao longo dos últimos anos. Entender o seu funcionamento e os seus principais componentes é crucial para o dimensionamento e seleção de componentes. No desenvolvimento vamos ser deparados com situações cuja solução não é única. Em qualquer situação, para ser possível uma decisão consciente e ponderada é necessário avaliar as alternativas disponíveis. Esta avaliação deverá ter em conta o desempenho dos componentes que sejam mais relevantes e utilizar um processo que permita poder tomar uma opção.

Para tal serão expostos conceitos e metodologias que permitam apoiar o processo de dimensionamento e seleção dos componentes de um sistema solar térmico. Tendo uma vertente de aplicação numa habitação unifamiliar, contem conceitos e princípios que são gerais para outras utilizações.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar, água quente sanitária (AQS), fração solar, rendimento, viabilidade económica

ABSTRACT

Solar thermal systems have been undergoing a development over the past years. It is crucial to understand its action and main components for the design and selection of its components. To develop this we will face some situations whose solution is not unique. For any situation, in order to make possible a conscious and deliberate decision it is necessary to assess all available alternatives. This assessment should take into account the performance of the most relevant components and use a process that allows us to make an option.

To do that, concepts and methodologies to support the process of sizing and selection of a solar thermal system components will be exposed. By having an application sector in a single family dwelling, it contains concepts and principles which are general to other uses.

KEYWORDS: solar energy, domestic hot water (DHW), solar fraction, yield, economic viability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO	1
2. DEFINIÇÕES E FUNDAMENTOS	3
2.1. RADIAÇÃO PROVENIENTE DO SOL	3
2.2. ENQUADRAMENTO NACIONAL	6
2.2.1. RCCTE	6
2.2.2. NOVA LEGISLAÇÃO	7
2.2.3. CERTIFICAÇÃO COLETORES	7
2.3. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS	8
2.3.1. SISTEMA DIRETO OU INDIRETO POR TERMOSSIFÃO	8
2.3.2. SISTEMA INDIRETO POR CIRCULAÇÃO FORÇADA	9
2.4. COLETOR SOLAR	11
2.4.1. COLETORES PLANOS	12
2.4.2. BALANÇO ENERGÉTICO	14
2.5. SISTEMAS DE ACUMULAÇÃO	16
2.5.1. CARACTERÍSTICAS	16
2.5.2. PERMUTADOR DE CALOR	18
2.5.3. ISOLAMENTO	19
2.6. COMPONENTES DO SISTEMA PRIMÁRIO	19
2.6.1. TUBAGENS	20
2.6.2. FLUIDO DE TRANSFERÊNCIA TÉRMICA	20
2.6.3. VASO DE EXPANSÃO E VÁLVULA DE SEGURANÇA	21
2.6.4. BOMBA DE CIRCULAÇÃO	22
2.6.5. PRINCIPAIS VÁLVULAS DO SISTEMA	23
2.6.6. OUTROS COMPONENTES	25
2.6.7. SISTEMAS DE CONTROLO	25

2.7. SISTEMA AUXILIAR DE AQUECIMENTO	27
2.8. AGRUPAMENTO DE COLETORES	28
2.9. TEMPERATURA DE ESTAGNAÇÃO	29
3. PRINCÍPIOS DE DIMENSIONAMENTO	31
3.1. CONCEITOS BÁSICOS	31
3.2. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO COLETOR	33
3.3. NECESSIDADE DE AQUECIMENTO AQS	33
3.3.1. TEMPERATURA DE UTILIZAÇÃO	35
3.3.2. TEMPERATURA DE ENTRADA DE ÁGUA FRIA	35
3.4. FORNECIMENTO DE ENERGIA SOLAR	36
3.4.1. MÉTODO F-CHART	36
3.4.2. MÉTODO ORIENTADO A PARTIR DO RENDIMENTO	37
3.5. VOLUME DE ACUMULAÇÃO	37
3.6. SISTEMAS AUXILIARES	40
3.7. PERMUTADOR DE CALOR	41
3.8. VASO DE EXPANSÃO	41
3.9. FLUIDO TÉRMICO	44
3.10. BOMBA DE CIRCULAÇÃO	46
3.11. TUBAGENS	47
3.11.1. ESPESSURA DO ISOLAMENTO	47
3.11.2. RECOMENDAÇÃO CIRCULAÇÃO NATURAL	48
3.12. IMPOSIÇÕES DA LEGISLAÇÃO	48
3.12.1. ÁREA MÍNIMA COLETORES	49
3.12.2. EXPOSIÇÃO SOLAR ADEQUADA	49
4. CASO DE ESTUDO	51
4.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO	51
4.2. CYPE – INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICA	52
4.2.1. CRIAÇÃO DA OBRA	52
4.2.2. INTRODUÇÃO DAS PLANTAS DO CASO DE ESTUDO	57
4.2.3. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	59
4.2.4. INTRODUÇÃO DOS COMPONENTES DA INSTALAÇÃO	60
4.2.5. RESULTADOS	63
4.3. (PRÉ)DIMENSIONAMENTO	64

4.3.1. DADOS DE PARTIDA	64
4.3.2. PRINCÍPIO DO ESQUEMA DA INSTALAÇÃO	66
4.3.3. CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO AQS	67
4.3.4. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO	68
4.3.5. CÁLCULO DA ENERGIA CAPTADA (F-CHART)	68
4.4. DIMENSIONAMENTO	71
4.4.1. DESENHO CIRCUITO HIDRÁULICO	71
4.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES	72
4.4.3. CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA NO SISTEMA	72
4.4.4. CÁLCULO DA BOMBA DE CIRCULAÇÃO	75
4.4.5. CÁLCULO DO VASO DE EXPANSÃO	77
4.4.6. ESTRUTURA DE SUPORTE, MATERIAIS E PROTEÇÕES	81
4.4.6.1. Processos prévios à instalação	81
4.4.6.2. Manipulação e armazenamento	81
4.4.6.3. Estrutura de suporte	81
4.4.6.4. Processo de montagem	84
4.4.7. SISTEMA AUXILIAR – SELEÇÃO	84
4.5. COMPARAÇÃO CYPE VS SOLTERM	85
 5. ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA (LCC)	 87
5.1. CUSTO DO CICLO DE VIDA - LCC	87
5.1.1. INTRODUÇÃO	87
5.1.2. FÓRMULA GERAL	88
5.1.3. DESCONTO E TAXA DE DESCONTO	89
5.1.4. FÓRMULAS DE ATUALIZAÇÃO	91
5.2. MEDIÇÃO DO DESEMPENHO	92
5.2.1. POUPANÇA LÍQUIDA (NS)	93
5.2.2. RÁCIO POUPANÇA E INVESTIMENTO (SIR)	93
5.2.3. TAXA INTERNA DE RETORNO (AIRR)	94
5.2.4. PERÍODO DE RETORNO	95
5.3. ANÁLISE SE SENSIBILIDADE	95
5.4. CASO DE ESTUDO	96
5.4.1. INTRODUÇÃO	96
5.4.2. DADOS BASE	97
5.4.3. CUSTOS COM MANUTENÇÃO E ENERGIA	98
5.5. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO	99

5.5.1. DADOS DE ENTRADA	99
5.5.2. CUSTO DE CICLO DE VIDA	100
5.5.3. PERÍODO DE RETORNO	101
5.5.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	104
5.5.5. APURAMENTO DA VIABILIDADE ECONÓMICA - LEGISLAÇÃO	107
 5. CONCLUSÕES	 109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Posição do sol sobre uma superfície horizontal (adaptado de [1])	3
Figura 2 – Plano elíptico (adaptado de [1])	3
Figura 3 – Radiação solar que atinge a superfície terrestre	4
Figura 4 – Radiação média horaria [4]	5
Figura 7 – Posição do Reservatório [7].	6
Figura 8 – Sistema circulação forçada	9
Figura 9 - Circuitos de um sistema indireto.	10
Figura 10 - Secção de coletor plano	12
Figura 11 – Absorção (α) e emissão através de superfícies diferentes [8]	13
Figura 12 - Dois tipos de Placas absorsoras	14
Figura 13 – Esquema de funcionamento do sistema de captação de energia solar (adaptado de [2])	14
Figura 14 – Esquema de depósito acumulador com duplo permutador de calor	17
Figura 15 – Estratificação do depósito, destruição da estratificação.	17
Figura 16 - Permutadores de calor	18
Figura 17- Permutadores em depósitos de acumulação [17]	19
Figura 18 – Esquema de instalação (adaptado de Cype – Instalação solar térmica)	20
Figura 19 - Líquido Solar [19]	21
Figura 20 - Vaso de expansão [20]	22
Figura 21 - Exemplo de bomba de circulação	22
Figura 22 – Purgador de ar [22]	25
Figura 23 – Controladores Solares	26
Figura 24 – Esquema do sistema de energia solar [24]	26
Figura 25 - Sistema auxiliar integrado	27
Figura 26 – Ligação em série a um segundo depósito com sistema auxiliar integrado [2]	27
Figura 27 – Ligação em Paralelo	28
Figura 28 – Ligação em Série	28
Figura 29 - Ligação em Série vs Paralelo	29
Figura 30 – Pequena Instalação	32
Figura 31 – Grande Instalação	32
Figura 32 – Variação da temperatura	35
Figura 33 – Variação das necessidades de aquecimento	36

Figura 34 – Vaso de expansão fechado [28]	44
Figura 35 – Edifício do Caso de estudo.	51
Figura 36 - Componentes da cobertura.	51
Figura 37 – Nova Obra.	52
Figura 38 – Obra vazia.	53
Figura 39 – Edifício Unifamiliar	53
Figura 40 -Seleção Projeto	53
Figura 41 – Dados do Projeto	54
Figura 42 - Localização	54
Figura 43 – Gerador de preços	54
Figura 44 – Unidades de utilização	55
Figura 45 – Planos/Grupos	55
Figura 46 – Dados Obra	56
Figura 47 – Condições Climáticas.....	56
Figura 48 – Gestão de máscaras	57
Figura 49 – Adicionar novo elemento	57
Figura 50 - Adicionar DXF	57
Figura 51 – Ficheiros disponíveis.....	57
Figura 52 – Seleção dos layer.....	58
Figura 53 – Ativar visibilidade de máscaras em cada grupo	58
Figura 54 – Associação das plantas aos grupos.....	58
Figura 55 – Definição da orientação.....	59
Figura 56 – Integração no edifício.....	59
Figura 57 – Sistema circulação.....	59
Figura 58 – Escolha casa Comercial.....	59
Figura 59 – Escolha do Coletor e depósito de armazenamento	60
Figura 60 - Equipamentos	60
Figura 61 – Coletor Solar térmico	61
Figura 62 – Esquema depósito armazenamento	61
Figura 63 – Tubagens de Impulso Retorno	61
Figura 64 – Esquema de ligação.....	62
Figura 65 – Colunas montantes	62
Figura 66 - Esquema bomba de circulação.....	62

Figura 67 – Visualização dos resultados da bomba	63
Figura 68 – Resultados tubagem	63
Figura 69 – Cálculo de perdas de radiação solar por sombras	63
Figura 70 – Representação 3D das soluções	64
Figura 71 – Esquema circulação forçada (adaptado do CYPE)	67
Figura 72 - Fração solar e eficiência do sistema	69
Figura 73 - Desenho circuito Hidráulico	71
Figura 74 - Perda de carga coletor	72
Figura 75 - Perda de carga em função da temperatura	75
Figura 76 - Modo de controlo da pressão diferencial constante.....	76
Figura 77 - Modo de controlo da pressão diferencial constante.....	77
Figura 78 - Montagem vaso de expansão.....	80
Figura 79 - Suporte para cobertura inclinada [37]	82
Figura 80 - Suporte para cobertura inclinada com chapa metálica [37]	82
Figura 81 – Colocação do coletor [37]	83
Figura 82 – Suportes do coletor [37]	83
Figura 83 - Módulo solar [39]	84
Figura 84 - Categoria de custos.....	88
Figura 85 - Variação do Fator de atualização SPV	90
Figura 86 - Variação do fator de atualização UPV*	91
Figura 87 – Previsão da evolução do preço da energia elétrica	96
Figura 88 - Fluxos financeiros (Gás natural) - Porto.....	102
Figura 89 - Fluxos financeiros (Gás natural) - Faro	103
Figura 90 – Relação investimento - LCC.....	103
Figura 91 – Sensibilidade LCC VS Taxa de Desconto	105
Figura 92- Sensibilidade LCC VS Taxa de atualização energia	106
Figura 93 - Perfil de consumo utilizado no método F-Chart.....	117
Figura 94 - Viscosidade absoluta da mistura de água – etileno glicol [45]	123
Figura 95 - Axiometria.....	127
Figura 96 - Planta R/Chão.....	128
Figura 97 - Planta Cobertura	129

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Radiação refletida pelo Contorno (albedo)	5
Quadro 2 - Ocupantes em função da tipologia.	6
Quadro 4 - Tipos de instalação.....	12
Quadro 5 - Vantagens e desvantagens dos modelos.....	14
Quadro 6 - Valores Característicos	16
Quadro 7 – Dados técnicos [19]	21
Quadro 8 - Inclinação ótima.....	33
Quadro 9 – Necessidade de AQS	34
Quadro 10 – Variação do consumo	39
Quadro 11 – variação do consumo (distribuído)	39
Quadro 12 - Espessura mínima de isolamento para equipamentos e depósitos	39
Quadro 13 - Valores limites de perdas estáticas em termoacumuladores	40
Quadro 14 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr}	40
Quadro 16 – Dados técnicos [19]	44
Quadro 17 - Propriedades da água e Etileno glicol	45
Quadro 18 - Valores de referência	46
Quadro 19 - Espessura mínima de isolamento (interior) [32]	48
Quadro 20 – nº de pessoas por habitação	55
Quadro 21 - Condições de Utilização	64
Quadro 22 – Condições Climáticas.....	65
Quadro 23-Cobertura solar mínima.....	65
Quadro 24-Cobertura solar mínima (base de 1 m ² /ocupante)	66
Quadro 25 – Necessidade de Aquecimento AQS.....	68
Quadro 26 - Características coletor solar.....	69
Quadro 27 - Aplicação F-CHART	70
Quadro 28 - Características para dimensionamento.....	72
Quadro 29 - Tubos de cobre [36]	73
Quadro 30 - Bomba de circulação.....	76
Quadro 31 - Dados Base.....	79
Quadro 32 - Esquentador termostáticos	85
Quadro 33 - Comparação Cype - Solterm.....	85
Quadro 34 – Critérios de decisão NS.....	93

Quadro 35 – Critérios de decisão SIR	94
Quadro 36 – Critérios de decisão AIRR	94
Quadro 37 – Cenários em análise	97
Quadro 38 - Cobertura solar mínima (imposição legislativa)	97
Quadro 39 – Características dos Coletores	97
Quadro 40 - Valores Manutenção	98
Quadro 41 - Preços da Energia (Eletricidade)	99
Quadro 42 - Preços da Energia (Gás Natural)	99
Quadro 43 - Dados técnicos e económicos para a análise de viabilidade económica	99
Quadro 44 - Custos e avaliação energética	100
Quadro 45 - Custo ciclo de vida	101
Quadro 46 – Retorno Investimento	102
Quadro 47 – Analise de Sensibilidade (Taxa de Desconto)	104
Quadro 48 - Analise de Sensibilidade (Taxa Variação Energia)	105
Quadro 49 - Preço da Energia Mínimo	106
Quadro 50 - Apuramento da viabilidade económica	107

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A1 - MÉTODO F-CHART	115
ANEXO A2 - CÁLCULO COEFECIENTE VISCOSIDADE	121
ANEXO A3 - DESENHOS.....	125

SÍMBOLOS

I_g - Irradiação solar incidente sobre o coletor.

Q_1 e Q_2 - Perdas térmicas por condução e convecção pela cobertura transparente e pela base e partes laterais do coletor, que dependem da temperatura exterior, da velocidade do vento e do nível de isolamento térmico.

Q_3 - Perdas óticas do coletor, devidas à refletividade da cobertura transparente.

E_u - Energia fornecida pela instalação solar.

P_i - Potência útil recolhida pelo fluido térmico.

P_p - Potência perdida por dissipação para o exterior.

A_c - Superfície do coletor, correspondente à área de abertura transparente (m^2).

τ - Transmitância da cobertura transparente.

α - Absortância do absorsor.

C – Caudal (m^3/s).

U_L - Coeficiente global de perdas.

t_c - Temperatura média da placa absorSORA ($^{\circ}C$).

t_a - Temperatura Ambiente ($^{\circ}C$).

n - Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma.

feh - Fator de eficiência hídrica.

M_{AQS} - Consumo diário de água quente sanitária l/dia.

c_p - Calor específico da água $4,187 \text{ KJ/Kg} \cdot ^{\circ}C$.

$\rho_{\text{água}}$ - Massa específica da água Kg/m^3 .

θ_{cal} - Temperatura da água para consumo.

θ_{red} - Temperatura média mensal da água da rede.

n_d - Número de dias.

f - Fração Solar.

D_1 e D_2 - Parâmetros.

Q_a - Necessidades de energia para aquecimento AQS.

Pot - Potencia permutador (W).

W/m^2 - Máxima radiação solar média.

C_e - Coeficiente de expansão (adimensional).

t - Temperatura máxima de funcionamento ($^{\circ}C$).

V_t - Volume total vaso de expansão.

P_m - Pressão mínima do Vaso de expansão.

P_M - Pressão máxima do Vaso de expansão.

V_{Col} - Conteúdo do coletor (litros).

V_{circ} - Conteúdo total de líquido solar do circuito (litros).

\dot{m} - Caudal volumétrico.

$F' \cdot U_L$ - Coeficiente global de perdas.

C_P (Glicol/ H_2O) - Calor específico do líquido solar ($J/Kg \cdot ^\circ C$).

Q - Output térmico utilizável (W/m^2).

ΔT - Diferença entre o fluxo de alimentação e retorno ($^\circ C$).

Δp_{col} - Perda de carga nos coletores.

Δp_{circ} - É originada pelas perdas de pressão nos tubos e pela soma das perdas pressão nas ligações.

$\Delta p_{permutador}$ - Perda originada pelo permutador de calor.

P_{Bomba} - Potência elétrica (KW).

Δp - Perda total de pressão da instalação (KPa).

λ - Condutibilidade térmica ($W/(m \cdot K)$).

λ_{ref} - Condutibilidade térmica de referência ($W/(m \cdot K)$).

D_i - Diâmetro interior.

e_{ref} - Espessura de referência do isolamento.

e - Espessura do isolamento.

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O presente trabalho será unicamente direcionado para o dimensionamento de sistemas solares térmicos de aquecimento de água quente sanitária (AQS) de uma habitação unifamiliar. Sendo o dimensionamento dos sistemas solares térmicos de AQS uma vertente pouco explorada pelos engenheiros civis, na sua vertente técnica, este trabalho surgiu como oportunidade de conhecer em maior profundidade a tecnologia.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é a sistematização do dimensionamento e otimização dos sistemas solares, na vertente energética e económica. De forma a alcançar o pretendido serão abordadas varias temáticas para se conseguir atingir os objetivos. Os principais objetivos são:

- Conhecer os principais componentes e o seu papel na instalação solar térmica;
- Conhecer os principais conceitos e entender o seu significado;
- Fazer um enquadramento legislativo, incluindo a nova legislação que entrou em vigor em 1/12/2013;
- Conhecer as principais características dos componentes e entender a sua importância na instalação;
- Conhecer as limitações de cada solução;
- Desenvolver um processo de apoio ao dimensionamento;
- Conhecer boas práticas de execução do sistema solar térmico;
- Avaliar a viabilidade económica das soluções, entendendo a importância dos fatores envolvidos.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

O documento está estruturado em 4 grandes capítulos, tendo sido a sua estruturação pensada de uma forma a descrever um processo natural de dimensionamento. No capítulo 2 serão descritos os principais fundamentos da disponibilidade solar, enquadrando a sua disponibilidade ao longo do dia e ano para diferentes localizações geográficas. Com a entrada em vigor da nova legislação já no decorrer da elaboração do presente documento optou-se por se fazer referência e utilização da mesma. Por último serão descritos os principais componentes dum sistema solar, tentando no entanto não ser demasiado extenso, ficando-se com uma visão geral da importância e princípios de funcionamento dos componentes.

No capítulo 3 serão expostos conceitos e metodologias que se tornaram essenciais para a seleção dos parâmetros, que serão a base do dimensionamento e seleção dos componentes do sistema solar térmico.

co. O dimensionamento está virado para os sistemas de circulação forçada sendo feitas algumas recomendações para o sistema de termossifão.

No capítulo 4 será aplicada a metodologia descrita no capítulo 3, a um caso de estudo. Será descrita a aplicação do programa de cálculo Cype no dimensionamento dos sistemas solares térmicos e a sua respetiva interpretação de resultados. Por último será realizada uma comparação entre o Cype o programa Solterm.

No capítulo 5 apresenta-se uma análise do custo de ciclo de vida. Para tal o caso de estudo desenvolvido no capítulo 4 será comparado com alternativas que cumprem todos os critérios regulamentares.

2

DEFINIÇÕES E FUNDAMENTOS

2. RADIAÇÃO PROVENIENTE DO SOL

A posição do sol para uma latitude específica e uma determinada hora pode ser determinada, de acordo com o esquema da Figura 1. A altura solar é máxima ao meio dia solar e variável durante a amplitude diária do sol.

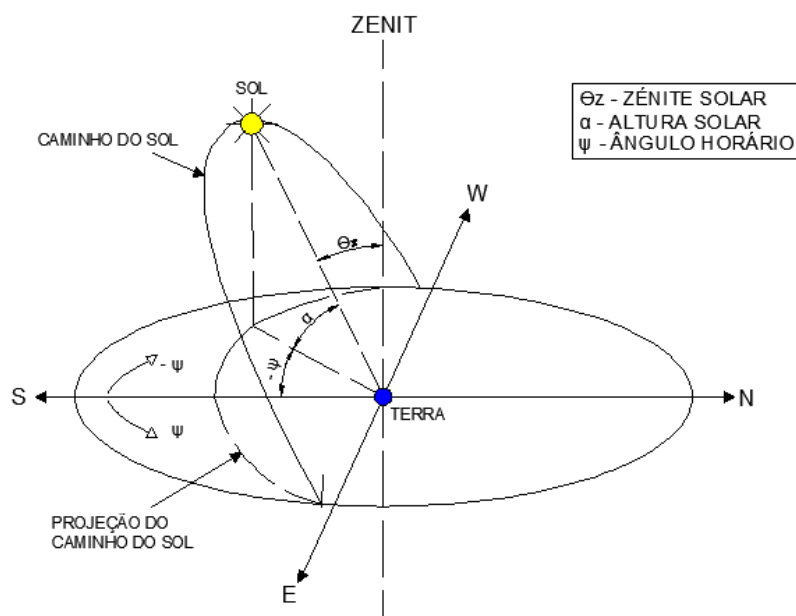


Figura 1 - Posição do sol sobre uma superfície horizontal (adaptado de [1])

O ângulo de incidência (altura solar) da radiação solar varia ao longo do ano, do dia e da latitude do local, devido ao eixo da Terra fazer um ângulo de $23,45^\circ$ com a normal ao plano eclíptico. No Verão regista-se a maior altura solar, enquanto no Inverno a altura solar atinge o seu mínimo. Este facto afeta a intensidade da radiação solar por unidade de área. Quanto maior for a inclinação dos raios solares (em relação a normal da superfície), mais extensa é a área pela qual se distribui a radiação solar. Este facto traduz-se numa diminuição da energia recebida por unidade de área. Assim se explica o défice térmico das regiões de latitude mais elevadas e o excesso energético das regiões de latitude mais baixas. O ângulo horário é mínimo ao meio dia solar quando toma o valor de 0° , registando a amplitude máxima ao nascer e por do sol [2].

Portugal continental está localizada na faixa de latitude compreendida entre 36° e 42° do hemisfério norte. No solstício de junho os raios solares atingem o território português com menos inclinação (em

relação à normal da superfície), recebendo maior quantidade de energia solar. Além disso os dias têm maior duração, aumentando a exposição solar. O contrário passa-se no solstício de Dezembro. Este facto é justificado com o facto do eixo da Terra ser inclinado (Figura 2).

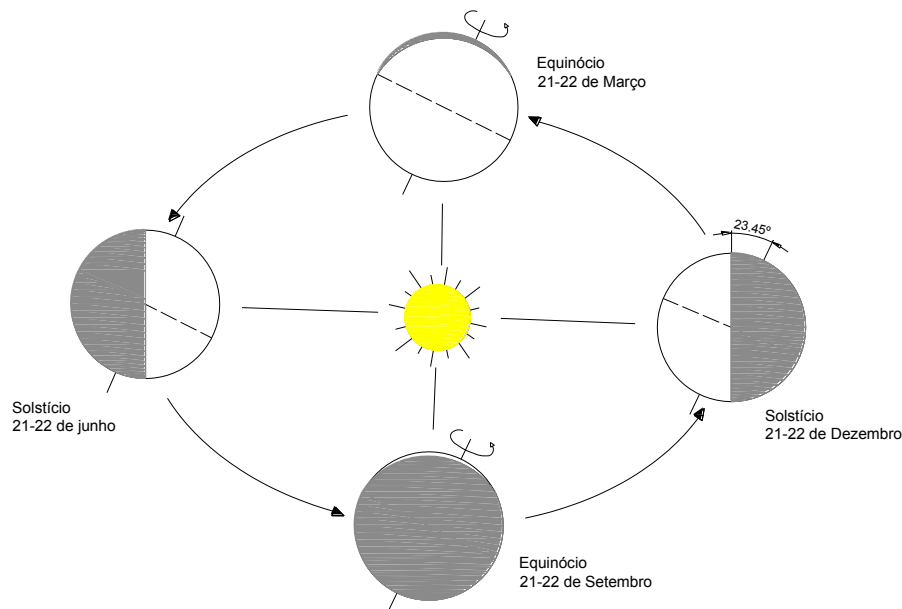


Figura 2 – Plano elíptico (adaptado de [1])

A escolha do ângulo de uma superfície deve ter como propósito otimizar a energia solar recebida. A melhor orientação de um plano localizado no hemisfério Norte é o Sul geográfico, o qual não é coincidente com o sul magnético. Existe um desfasamento entre o sul geográfico e magnético de 5° no sentido dos ponteiros do relógio.

A radiação que atinge o limite superior da atmosfera é de 1367 W/m^2 , correspondente à Constante solar. Da radiação proveniente do sol apenas 47% do total de radiação solar que chega à atmosfera consegue atingir a superfície terrestre. A restante radiação é absorvida, refletida e difundida pelos elementos presentes na atmosfera (Figura 3).

A radiação solar ao incidir sobre uma superfície vai sofrer uma mudança de direção (reflexão). A energia refletida por uma superfície em relação ao total incidente designa-se por albedo. As superfícies brancas têm um albedo elevado, enquanto as de tonalidade escura têm um albedo muito reduzido (Quadro 1). Este facto traduz-se numa maior absorção de radiação e num aumento da temperatura da superfície. O ângulo de incidência dos raios solares também afeta o albedo, aumentando a parcela refletida com o aumento do ângulo em relação à normal da superfície.

Quadro 1 – Radiação refletida pelo Contorno (albedo)

Contorno	Albedo (%)
Florestas, espaços verdes arbustos	3 – 15
Solo nu, campos ceifados	10 – 25
Relva	14 – 37
Revestimentos pétreos	12 – 40
Neve	40 – 85

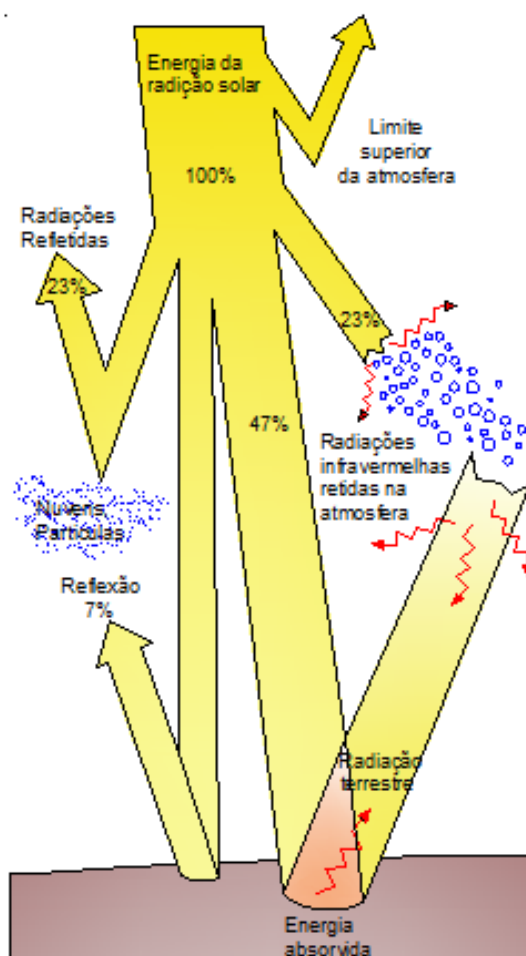
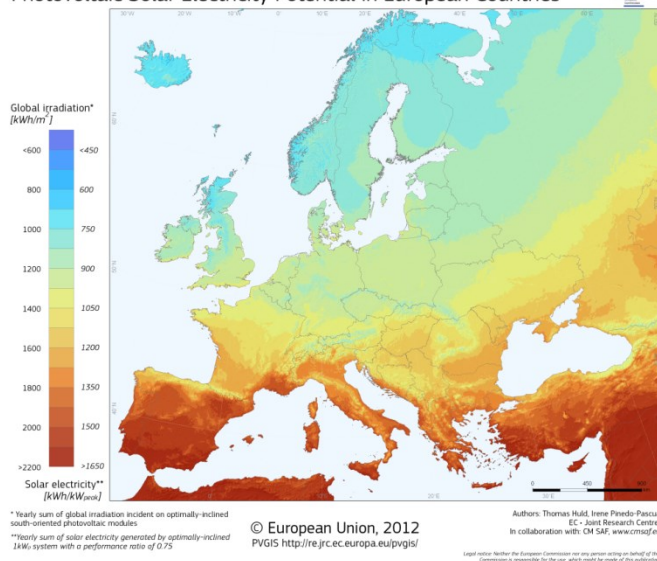


Figura 3 – Radiação solar que atinge a superfície terrestre [3]

A distribuição sazonal da radiação global em Portugal continental é bastante acentuada devida à latitude do país. Os valores máximos de radiação são registados no Verão e os mais baixos no Inverno. Além da variação sazonal da radiação global média, também se verifica uma variação espacial. Os valores de radiação aumentam em geral de norte para sul. Este aumento é mais notório no Inverno.

A proximidade ao mar influencia a radiação solar disponível. Sobretudo a nebulosidade faz com que as regiões do litoral, sobretudo a norte do rio Tejo recebam radiação com menor intensidade. Portugal é privilegiado na irradiação solar incidente em relação ao resto da Europa (Figura 4).

Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



Global irradiation and solar electricity potential
Horizontally mounted photovoltaic modules

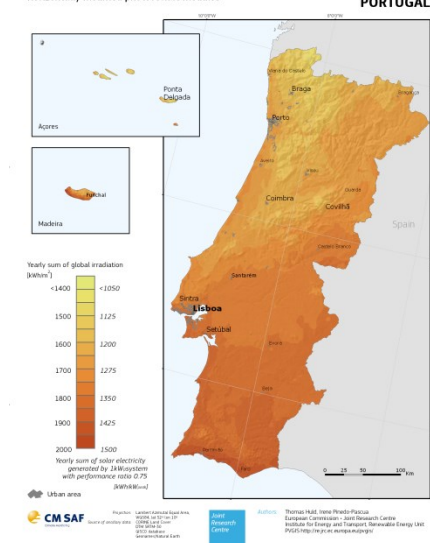


Figura 4 – Radiação média horaria [4]

2.1. ENQUADRAMENTO NACIONAL

2.1.1. RCCTE

Segundo a legislação em vigor até 1/12/2013 as necessidades anuais de aquecimento de AQS (águas quentes sanitárias) não podiam ultrapassar um máximo admissível, sendo obrigatória a instalação de coletores solares térmicos para aquecimento de AQS. Esta obrigação era valida quando houvesse exposição solar adequada, na base de 1 m² de coletor por ocupante convencional previsto.

Este valor podia ser reduzido de forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total admissível, em terraços ou vertentes orientadas no quadrante Sul, entre Sudeste e Sudoeste. Considera-se exposição solar adequada a existência de cobertura em terraço ou de cobertura inclinada com águas cuja normal esteja orientada numa gama de azimutes de 90° entre sudeste e sudoeste, que não sejam sombreadas por obstáculos significativos no período que se inicia diariamente duas horas depois de nascer o Sol e termina duas horas antes do ocaso [5].

O consumo médio diário de referência nos edificios residenciais é de 40 litros a uma temperatura de 60°C, sendo o número de ocupantes definido em função da tipologia (Quadro 2).

Quadro 2 - Ocupantes em função da tipologia.

Tipologias	T0	T1	T2	T3	...	Tn
Números de ocupantes	2	2	3	4	...	n+1

A contribuição dos coletores solares térmicos para aquecimento de AQS devia ser calculada utilizando o programa SOLTERM do INETI. Esta só podia ser considerada se os sistemas solares térmicos fossem certificados de acordo com as normas em vigor, instalados por instaladores acreditados pela DGGE e, cumulativamente, se houvesse garantia de manutenção do sistema em funcionamento durante um período mínimo de 6 anos.

2.1.2. NOVA LEGISLAÇÃO

A 1 de dezembro de 2013 entrou em vigor o Decreto-Lei n.º 118/2013 que aprova o sistema de certificação energética dos edifícios. São revogados o Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, 79/2006, de 4 de abril e 80/2006, de 4 de abril.

A transposição da Diretiva n.º20010/31/EU do Parlamento Europeu e do conselho de 19 de Maio de 2010 introduziu novas disposições, que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético dos edifícios. O diploma inclui, o Sistema de certificação energética dos edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifício de Comercio e Serviços (RECS). A promoção da utilização de energias renováveis foi mantida com o reforço e clarificação dos métodos de quantificação do respetivo contributo. Do mesmo modo foi incentivada a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios.

A instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios novos é obrigatória sempre que haja exposição solar adequada. A energia solar fornecida pelo sistema solar térmico a instalar deve ser igual ou superior à obtida por um sistema solar constituído por coletores padrão, na razão de um coletor padrão por habitante convencional, não fazendo referência a 1 m² por ocupante. O conceito de coletor padrão é virtual, não tendo correspondência a equipamentos disponibilizados no mercado. As características constam na Portaria n.º349-B/2013. O valor máximo da área dos coletores pode ser reduzido a 50% da área de cobertura com exposição solar adequada mediante justificação fundamentada. Os sistemas solares térmicos devem ser prioritários para aquecimento de água quente sanitária caso haja utilização adicional em sistemas de climatização.

O regulamento contempla a possibilidade de se considerarem outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis que assegurem, numa base anual, a obtenção de energia equivalente ao sistema solar térmico. A contribuição dos sistemas solares térmicos para efeito de desempenho energético só pode ser considerada nos termos do regulamento mediante cumprimento dos requisitos de qualidade definidos na Portaria n.º349-B/2013

A grande alteração na nova regulamentação evidencia-se na distinção de edifícios de serviços e habitação, atendendo as especificidades de cada um.

2.1.3. CERTIFICAÇÃO COLETORES

A certificação é um processo que permite dar uma maior garantia ao utilizador final, dado que o produto certificado apresenta características de qualidade comprovadas, relativamente a produtos não certificados. As normas CEN, constituídas pelas EN 12976-1, EN 12976-2, EN 12975-1 e EN 12975-2 são no momento as normas em vigor, e desde 2003 estão na base do esquema português de certificação de coletores solares e sistema de fabrico (Figura 5). O esquema de certificação português é similar ao esquema europeu Solar Keymark, desenvolvido com a participação do LECS (Laboratório de Ensaios de Coletores Solares do INETI) [6].

Os equipamentos deverão estar certificados de acordo com as normas europeias EN 12975-1/2 e EN 12976-1/2.



Figura 5 – Normas de Certificação.

A Solar Keymark é uma certificação voluntária de terceira parte. Mediante a obtenção da Solar Keymark, o produto solar fica qualificado para a regulamentação de quase todos os estados membros e esquemas de incentivo financeiro.

2.2. SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS

Existem diferentes formas de conjugar os componentes de um sistema solar térmico. Os sistemas podem ser diretos ou indiretos consoante o circuito é aberto ou fechado. Os sistemas podem ser passivos ou ativos, caso em que existe um meio mecânico auxiliar para efetuar a circulação.

2.2.1. SISTEMA DIRETO OU INDIRETO POR TERMOSSIFÃO

O sistema de circulação em termossifão (Figura 6) assenta no princípio que o mesmo fluido a temperaturas diferentes tem densidades diferentes, aumentando a densidade com a diminuição da temperatura. Um fluido a diferentes temperaturas tende a estratificar por densidades, ficando o mais quente na parte superior (menor densidade). O fluido quente ao subir vai entrar no depósito de acumulação onde vai arrefecer por permutação de calor com a água fria. Ao arrefecer vai voltar ao coletor solar para voltar a ser aquecido, processando-se assim o ciclo de funcionamento. Para que este sistema funcione de forma adequada o depósito deve ficar localizado acima do coletor solar. O Sistema de circulação direta tende a entrar em dessuço devido as incrustações provocadas pela água.

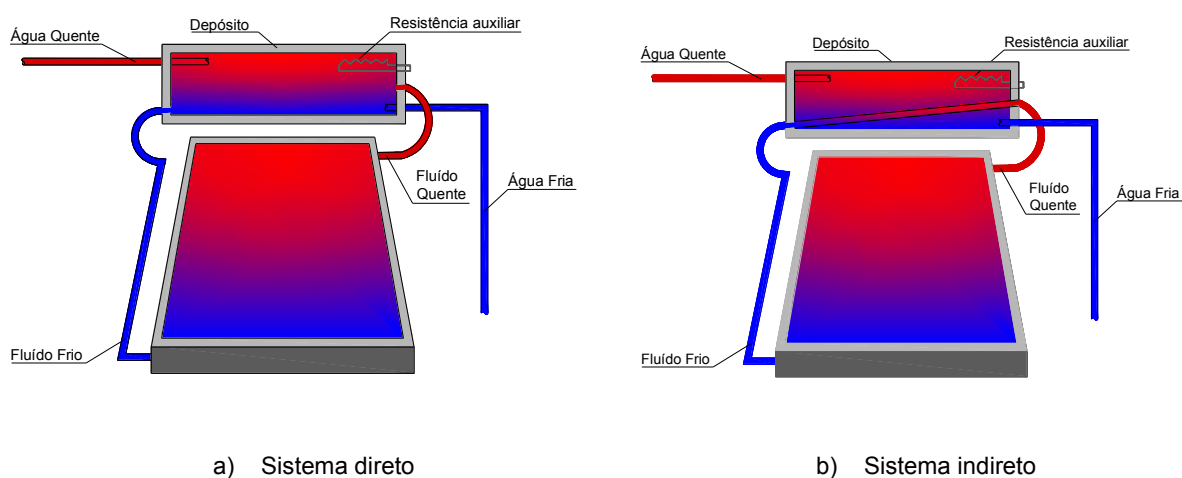


Figura 6 – Sistema termossifão.

Para melhorar a utilização e eficiência do sistema de circulação com termossifão é importante salientar alguns aspetos. Toda a tubagem que faz a ligação do depósito aos coletores solares deve estar inclinada no sentido descendente. Esta medida permite evitar a formação de bolhas de ar, mantendo o perfeito funcionamento do sistema.

Nos coletores solares duas distâncias são importantes (Figura 7). A altura entre o topo do coletor solar e a base do depósito (H_{cd}) e a distância do reservatório térmico com o coletor solar (H_{dc}). A distância H_{cd} diminui a sifonagem invertida. A distância H_{dc} deve ser menor que dez vezes a distância H_{cd} [7].

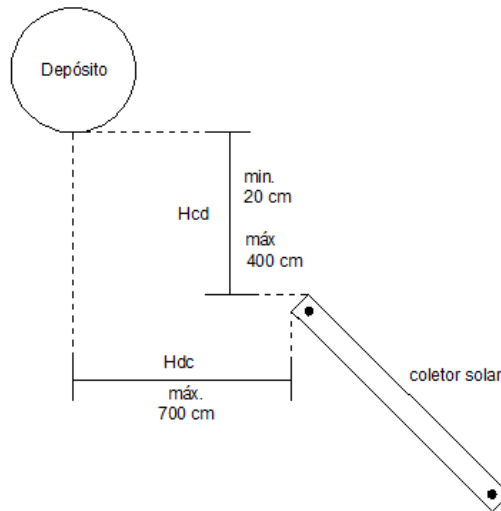


Figura 7 – Posição do Reservatório [7].

Este sistema apresenta um elevado risco de sobreaquecimento por não possuir qualquer tipo de controlo de temperatura. Implica utilização de tubagens de diâmetros maiores para minimizar as perdas por atrito.

2.2.2. SISTEMA INDIRETO POR CIRCULAÇÃO FORÇADA

O sistema de circulação forçada (Figura 8) é utilizado nas situações em que não é viável a colocação de depósitos acima da parte superior dos coletores e para grandes sistemas onde o termossifão não é suficiente. É necessário utilizar bombas eletrocirculadoras para movimentar o fluido térmico. A bomba poderá ser comandada por um sistema de controlo automático (Controlo Diferencial). Este é regulado de forma a pôr a bomba a funcionar quando a diferença entre o coletor e o depósito for de 4°C [8].

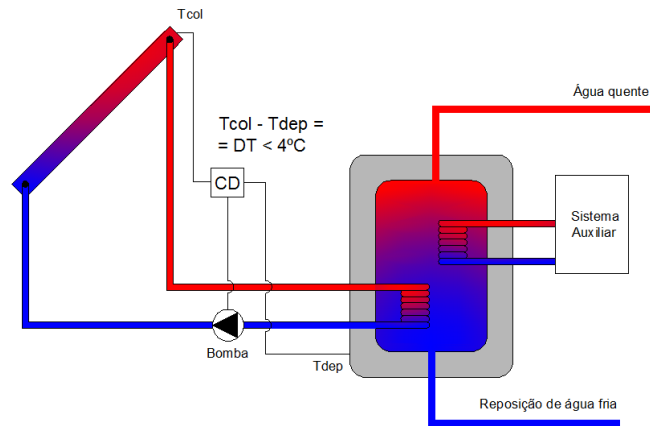


Figura 8 – Sistema circulação forçada.

Estes sistemas são ainda compostos por purgador de ar, vaso da expansão e outros pequenos acessórios detalhados mais à frente, sendo um sistema mais complexo. Este tipo de sistema pode ser dividido em três circuitos, na Figura 9 estão representadas dois. Esta divisão tornará mais fácil identificar futuramente a que parte do circuito se está a referir.

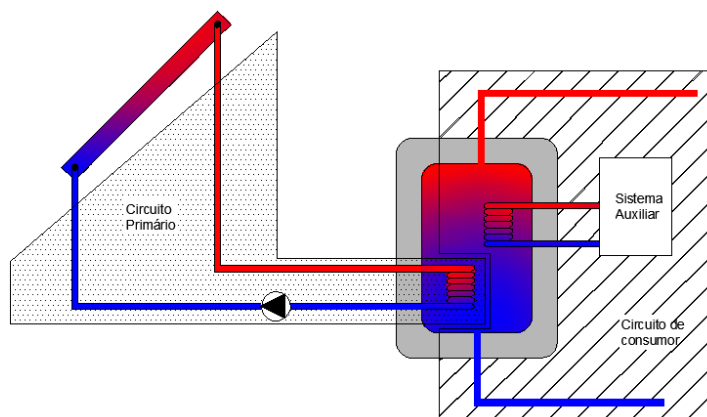


Figura 9 - Circuitos de um sistema indireto.

Na Figura 9 estão representados 2 circuitos, a existência de outro é função do permutador de calor ser externo ao depósito de acumulador, criando o circuito secundário entre o permutador e o depósito.

Os sistemas de circulação natural (termossifão) e forçada apresentam as seguintes vantagens e desvantagens (Quadro 3) [6]:

Quadro 3 - Vantagens/Desvantagens dos Sistemas de Circulação

	Vantagens	Desvantagens
Termossifão	<ul style="list-style-type: none"> ▪ não necessita de energia elétrica; ▪ simples e de baixo custo; ▪ utilização mais frequente em sistemas unifamiliares de baixa potência e em zonas de baixo risco de congelamento; 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dificuldade de circulação em sistemas de média dimensão; ▪ Posicionamento superior do depósito de acumulação; ▪ não permite a regulação da temperatura do depósito;
Circulação Forçada	<ul style="list-style-type: none"> ▪ utilização de depósito de armazenamento na vertical, aproveitando o efeito da estratificação; ▪ permite a regulação da temperatura do sistema mediante a ação da eletrobomba circuladora. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ necessidade de energia elétrica; ▪ mais complexo e de maior custo.

2.3. COLETOR SOLAR

Os coletores solares convertem radiação solar em calor. O calor é gerado pela absorção da radiação solar por uma placa metálica. Tem uma tonalidade escura para otimizar a capacidade de absorver a radiação, diminuindo a parcela refletida. O calor armazenado é absorvido por um fluido térmico que circula nas placas em tubos de metal. Geralmente o calor é armazenado em depósitos através da permutação do calor do fluido térmico.

Existem diversos tipos de coletores para diferentes aplicações com custos e desempenhos específicos. Na descrição de um coletor deve-se ter em conta os seguintes aspetos:

- A superfície bruta do coletor que corresponde as dimensões exteriores;
- A área da superfície de abertura, que corresponde à área através da qual passa a radiação solar;
- A área de captação, que corresponde à área da placa absorvora.

O conhecimento destes aspetos torna-se importante quando se pretende comparar diferentes soluções existentes no mercado, principalmente áreas de captação. Existem diversos tipos de coletores no mercado, coletores planos, coletores parabólicos compostos e coletores de vácuo. Destas três categorias temos outros sistemas onde se incorporam as diversas variantes. Por este facto e para não tornar a descrição demasiado extensa optou-se por focar aos mais vulgarmente utilizados em Portugal nas habitações unifamiliares. Fica como referência o Quadro 4 com a seleção do tipo de coletor dependendo do tipo de instalação.

Quadro 4 - Tipos de instalação [9]

TIPO DE INSTALAÇÃO	TEMPERATURA DE UTILIZAÇÃO	TIPO DE COLETOR
Piscinas/Estufas	< 30 °C	Plano sem cobertura Plano (preto baço) Plano (seletivo)
Águas Sanitárias e Pré-aquecimento Industrial	< 60 °C	Plano (preto baço) Plano (seletivo) CPC (baixa concentração)
Pré-aquecimento Industrial	> 60 °C	CPC (baixa concentração) CPC (alta concentração) Tubo de vácuo Outros concentrados

2.3.1. COLETORES PLANOS

Todos os coletores planos no mercado são de absorvedores de metal. Estes estão incorporados dentro de uma caixa metálica com cobertura transparente (Figura 10). São isolados na parte inferior e nas laterais. Num coletor com uma espessura de isolamento adequado pode-se reduzir as perdas térmicas totais até 20%, mas aumentando também a sua temperatura de estagnação. Dois tubos para alimentação e retorno do fluido de transferência de calor estão colocados na lateral do mesmo.

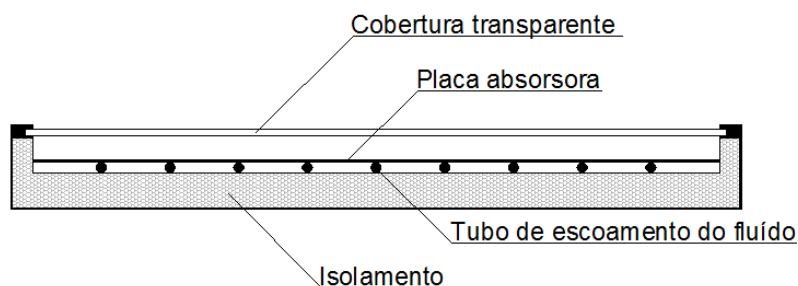


Figura 10 - Secção de coletor plano

A placa absorvedora é a peça fundamental de um coletor. Esta consiste em uma chapa metálica onde estão incorporados/soldados os tubos que transportam o fluido de transferência de calor. Estas têm elevada absorção, ou seja, boas características de absorção da radiação. Esta tem um revestimento preto-baço ou seletivo. Quando a radiação solar atinge o absorvedor esta é parcialmente absorvida e parcialmente refletida. A absorção gera calor que é transferida da chapa metálica para o fluido térmico. Esse calor é por último permutado no depósito de armazenamento.

O absorvedor está otimizado para ter uma maior capacidade de absorção possível. Geralmente são feitos de cobre e consoante o tratamento que tiverem apresentam melhores resultados (Figura 11).

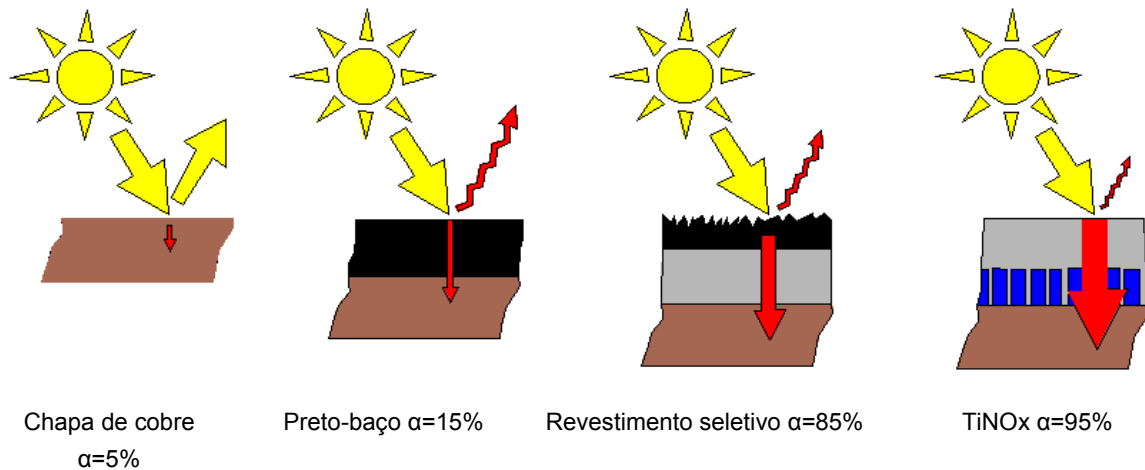


Figura 11 – Absorção (α) e emissão através de superfícies diferentes [8]

Segundo a Figura 11 o coeficiente de absorção de uma superfície preto-baço é de apenas 15 %. Este valor parece ser demasiado baixo para uma superfície com estas características.

A radiação emitida pelo sol tem um comprimento de onda de $0.3 - 3.0 \mu\text{m}$. Quando atinge uma superfície, dependendo da estrutura da superfície (material, rugosidade, cor) uma parte é refletida, outra absorvida e outra transmitida através do material. A transmissão só acontece no caso de elementos translúcidos, casos como o vidro. A parte absorvida é convertida em radiação de onda-longa (comprimento de $3.0 - 30 \mu\text{m}$). A utilização de uma cobertura transparente é justificada pelo facto da radiação emitida pelo painel absorvedor ser de comprimento de onda-longa. Para este comprimento de onda a cobertura transparente comporta-se como uma superfície preta, criando um efeito de estufa [8].

Todo o processo físico descrito anteriormente pode ser descrito como o grau de reflexão, absorção, transmissão e emissividade de um corpo.

$$\text{Grau de reflexão: } \rho = \frac{\text{Radiação refletida}}{\text{Radiação incidente}} \quad (1)$$

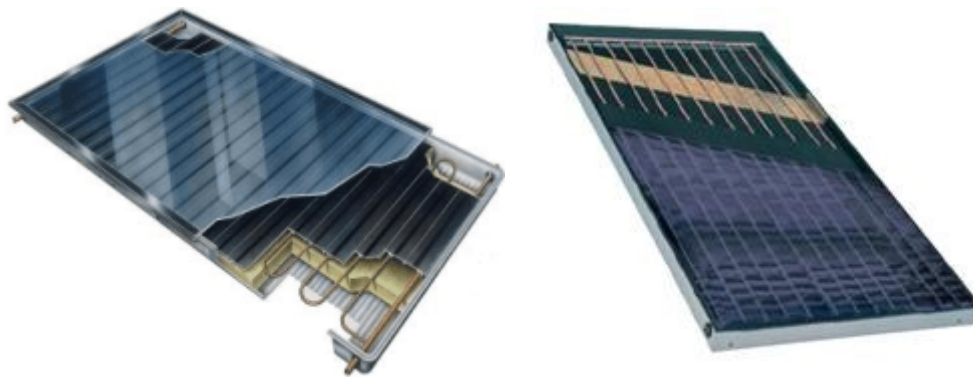
$$\text{Grau de absorção (coeficiente de absorção): } \alpha = \frac{\text{Radiação absorvida}}{\text{Radiação incidente}} \quad (2)$$

$$\text{Grau de transmissão: } \tau = \frac{\text{Radiação transmitida}}{\text{Radiação incidente}} \quad (3)$$

$$\text{Emissividade: } \varepsilon = \frac{\text{Radiação emitida}}{\text{Radiação incidente}} \quad (4)$$

As variáveis ρ , α , τ , e ε são dependentes do material e do comprimento de onda, o somatório de ρ , α , e τ , é igual a 1 (100%). Num coletor solar deve-se minimizar a radiação refletida, maximizar a absorvida e diminuir a emitida. Em consequência se traduz num aumento da transmitida.

De entre os coletores planos existentes existem diversas soluções construtivas, sendo classificadas com absorvedores de serpentina e total. As duas expostas na Figura 12 são das mais utilizadas, apresentando vantagens e desvantagens (Quadro 5).



a) Absorridor de serpentina [10]

b) Absorridor superfície total [11]

Figura 12 - Dois tipos de Placas absoridoras

Quadro 5 - Vantagens e desvantagens dos modelos [8]

Vantagens		Desvantagens
Absorridor de Serpentina	Dois pontos de soldadura no sistema de tubos.	Elevadas perdas de pressão em relação ao absorridor de superfície total.
Absorridor de superfície total	Baixas perdas de pressão em relação ao absorridor de serpentina.	Muitos pontos de soldadura no sistema de tubos, preço elevado.

De entre os absordores descritos existem outros tipos como Roll-Bond, de aço inoxidável no qual o líquido absorridor passa através de toda a superfície.

2.3.2. BALANÇO ENERGÉTICO

Cada um dos elementos descritos no ponto 2.3.1 desempenha um papel específico na captação da energia solar. Na Figura 13 estão esquematizadas as principais trocas de calor durante a captação de energia [2]:

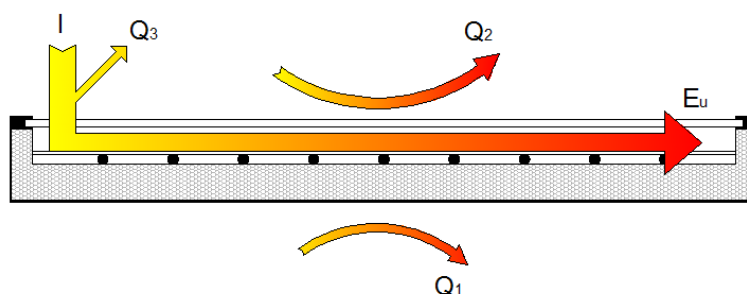


Figura 13 – Esquema de funcionamento do sistema de captação de energia solar (adaptado de [2])

Onde:

I_g - Irradiação solar incidente sobre o coletor.

Q_1 e Q_2 - Perdas térmicas por condução e convecção pela cobertura transparente e pela base e laterais do coletor, que dependem da temperatura exterior, da velocidade do vento e do nível de isolamento térmico.

Q_3 - Perdas óticas do coletor, devidas à refletividade da cobertura transparente.

Com uma irradiação solar e descontando todas as perdas temos uma energia útil disponível, sendo o balanço energético[12]:

$$E_u = P_i - P_p \quad (5)$$

E_u - Energia fornecida pela instalação solar.

P_i - Potência útil recolhida pelo fluido térmico.

P_p - Potência perdida por dissipação para o exterior.

A potência útil recolhida pode ser assim calculado por:

$$P_i = A_c \cdot I_g \cdot \tau \cdot \alpha \quad (6)$$

A_c - Superfície do coletor, correspondente à área de abertura transparente (m^2).

I_g - Irradiação solar incidente sobre o coletor por unidade de área (W/m^2).

τ - Transmitância da cobertura transparente.

α - Absortância do absorsor.

As perdas térmicas por condução e convecção podem ser calculados como a potência perdida por dissipação para o exterior:

$$P_p = A_c \cdot U_L \cdot (t_c - t_a) \quad (7)$$

U_L - Coeficiente global de perdas.

t_c - Temperatura média da placa absorSORa ($^{\circ}C$).

t_a - Temperatura Ambiente ($^{\circ}C$).

A temperatura média da placa absorvente t_c não se pode calcular de forma simples, mas pode conhecer-se com suficiente exatidão a temperatura t_m do fluido térmico no coletor. Uma forma simples de obter esta temperatura é calcular a média entre a temperatura do fluido á entrada e á saída do coletor.

$$t_m = \frac{t_e + t_s}{2} \quad (^{\circ}C) \quad (8)$$

Se substituirmos a temperatura da placa absorSORa t_c , em princípio desconhecida, pela temperatura do fluido t_m temos que introduzir um fator de correção F' chamado fator de irrigação, sempre inferior à unidade e que faz diminuir a potência disponível. Este fator depende do caudal do fluido e das características da placa. A expressão anterior transforma-se em:

$$E_u = F' \cdot A_c \cdot (I_g \cdot \tau \cdot \alpha - U_L \cdot (t_m - t_a)) \quad (9)$$

O rendimento de um coletor solar térmico é a percentagem da energia total incidente que é efetivamente transferida para o fluido de trabalho, ou seja:

$$\eta = F'(\tau\alpha) - F' \cdot U_L \cdot \frac{(t_m - t_a)}{I_g} \quad (10)$$

Com um caudal determinado e com τ, α e U_L constantes, a expressão do rendimento do coletor pode assemelhar-se com bastante exatidão a uma reta. Alguns valores típicos podem ser apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Valores Característicos [9]

Tipo de coletor	Características (relativas à área de abertura)	
	$F'(\tau\alpha)$	$F' \cdot U_L$
Não seletivo s/vidro	0,8 – 0,9	20
Não seletivo	0,7 – 0,8	8 – 9
Seletivo	0,7 – 0,8	3 – 6
C.P.C.	0,7 – 0,75	3,7/4,2
Tubos de Vácuo	0,7 – 0,8	1,8 - 3

Quando a relação $(t_m - t_a)/I_g$ é igual a zero temos o rendimento ótico do coletor. Quando a temperatura da saída é igual à temperatura de entrada, ou o caudal é nulo, ou o rendimento é nulo e o coletor atinge a temperatura de estagnação.

2.4. SISTEMAS DE ACUMULAÇÃO

A radiação solar é intermitente e raramente é coincidente com a altura de utilização de energia. Deste modo é necessário armazenar energia para as alturas de utilização, devido ao desfasamento entre a procura e a oferta.

As características mais importantes num depósito de armazenamento são a resistência mecânica, durabilidade e isolamento térmico. Geralmente os depósitos de acumulação são de aço inoxidável, aço vitrificado ou aço revestido a plástico. Os depósitos de aço inoxidável são mais sensíveis às águas com muito cloro, enquanto a maior parte dos revestimentos plásticos apresentam problemas de fiabilidade.

2.4.1. CARACTERÍSTICAS

No Inverno, onde a radiação solar é insuficiente, o sistema de apoio pode debitar grandes quantidades de energia só para manter a temperatura no depósito. Isto pode acontecer em períodos onde não se verifiquem consumos. Por este motivo o sistema de apoio não deve ser integrado no depósito de acumulação (Figura 14) [2]. Na legislação existe a possibilidade de ser integrada desde que a instalação disponha de um relógio programável e acessível, para atuação da energia auxiliar de forma que, durante o dia, o depósito possa receber energia proveniente do coletor solar [13].

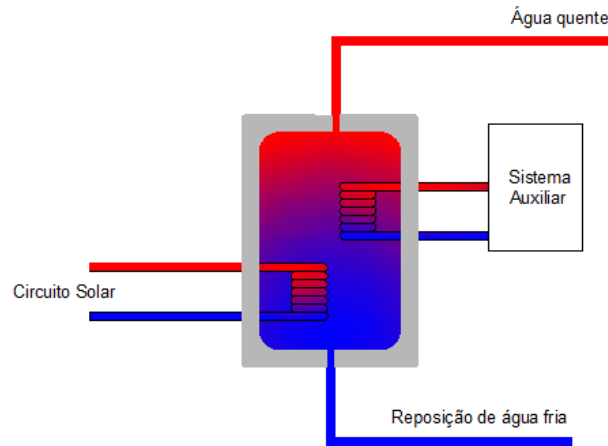


Figura 14 – Esquema de depósito acumulador com duplo permutador de calor

Para um bom funcionamento do depósito de acumulação deve-se registar uma estratificação da água (Figura 15). Esta é uma condição para um bom desempenho e contribui para o aumento da eficiência do sistema.

Para se manter esta condição e maximizar a energia captada e evitar a perda da estratificação deve-se ter em consideração diversos aspetos. Para criar esta condição o depósito deve ter uma estrutura vertical, sendo a razão da altura-diâmetro de pelo menos 2,5:1 e ficar localizado no interior do edifício. As ligações ao depósito de acumulação devem ser as seguintes[8, 14]:

- A entrada do fluido térmico no permutador é realizada de preferência a uma altura de 50% e 75% da altura do mesmo;
- A saída do fluido térmico do permutador deve ser realizada pela base do mesmo;
- A reposição de água fria deve ser realizada pela parte inferior do depósito, enquanto a extração da água quente deve ser na parte superior;
- Recomenda-se que a água de reposição e retorno sejam dotadas de uma placa deflectora na parte interna, de modo a que a velocidade de entrada não destrua a estratificação no acumulador;



Figura 15 – Estratificação do depósito, destruição da estratificação.

Quando não existem tubagens de retorno o mesmo pode acontecer pelas tubagens de alimentação da água quente.

Para se evitar isso a tubagem de água quente deve ser colocada do topo para base do depósito ou fora numa posição descendente dentro do isolamento térmico. Caso não seja possível é recomendado que a saída de água quente seja realizada com uma curvatura de 180° (sifão).

2.4.2. PERMUTADOR DE CALOR

Os permutadores de calor (Figura 16) são utilizados no caso em que o fluido de trabalho é diferente do de consumo. Este é um componente do sistema solar térmico onde ocorre a transferência de calor do fluido do circuito primário para o de consumo.



a) Permutador externo [15]

b) Serpentina [16]

Figura 16 - Permutadores de calor

Os permutadores de calor mais utilizados são os de serpentina, apresentando um rendimento de 55%. O uso de permutadores externo é justificado para instalações de maior dimensão. Têm um rendimento de 75%, apresentando uma superfície maior de contacto [2].

O permutador de calor do circuito solar deve estar o mais baixo possível. O aquecimento vai processar-se através da base do depósito onde a temperatura será menor. A existência de um permutador adicional acionado pelo sistema auxiliar (Figura 17), deve estar localizado na parte superior do depósito. Garantindo assim o aquecimento rápido de um volume em espera (requisito diário).

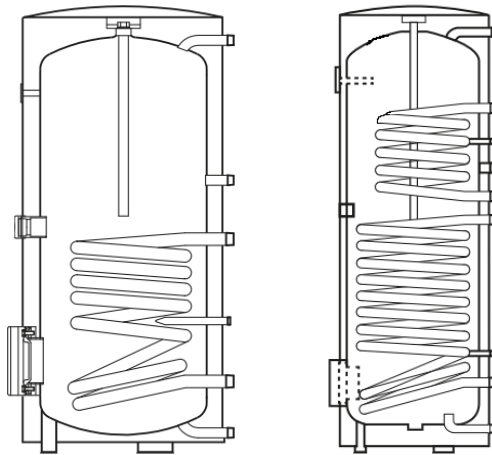


Figura 17- Permutadores em depósitos de acumulação [17]

A escolha de um depósito de acumulação com uma ou duas serpentinas vai estar dependente da ligação do sistema auxiliar ao sistema.

2.4.3. ISOLAMENTO

Um bom isolamento é fundamental para a eficiência de um depósito de armazenamento. Deve ter uma espessura de 100 mm nos lados e uma espessura de 150 mm no topo e na base do depósito [8]. Devem ser compostos com materiais sem CFCs e PVCs (p.e. fibra de vidro ou polietileno com condutibilidades térmicas de $\lambda=0.035 \text{ W/m}^\circ\text{C}$). É comum como, nos coletores, definir uma taxa de perdas térmicas ($w/^\circ\text{C}$).

Como valor de referência devem ser menores do que $2 \text{ w/}^\circ\text{C}$. Para uma diferença de temperatura de 35°C e com uma taxa de perdas térmicas de $3 \text{ w/}^\circ\text{C}$ resulta numa perda de 919.8 KWh/ano . Com uma taxa de $2 \text{ w/}^\circ\text{C}$ haveria uma poupança de 33%.

2.5. COMPONENTES DO SISTEMA PRIMÁRIO

O calor gerado nos coletores precisa de ser transportado para o depósito de acumulação. Este transporte é realizado pelo circuito solar, sendo este constituído pelos seguintes elementos:

- Tubagens – ligação do coletor ao depósito de armazenamento, incorporando diversos acessórios;
- Fluido de transferência térmica;
- Bomba de circulação;
- Permutador de calor, caso seja externo;
- Equipamento e acessórios para enchimento, esvaziamento e drenagem;
- Equipamentos de segurança: vaso de expansão e válvula de segurança.

Na Figura 18 está representada uma instalação genérica.

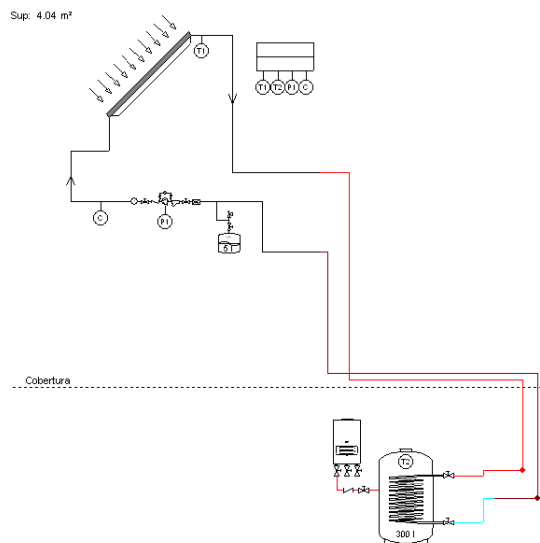


Figura 18 – Esquema de instalação (adaptado de Cype – Instalação solar térmica)

2.5.1. TUBAGENS

As matérias mais utilizadas em instalações solares térmicas são o aço inox, o cobre, o aço galvanizado, o aço negro e os materiais plásticos. Para transporte do fluido térmico entre o coletor e depósito de armazenamento o mais utilizado é o cobre. Apresenta boa resistência à corrosão, é maleável e dúctil. A sua facilidade de manipulação permite a realização de traçados mais complicados, existindo acessórios para diversos tipos de componentes com conexão roscada.

Os tubos de inox têm uma utilização crescente nos últimos anos devido à sua boa resistência à corrosão, facilidade de corte e gama completa de acessórios [8].

Apresenta a vantagem de ter menos perdas de carga em linha, permitindo o uso de diâmetros menores. Em contraposição com o cobre não é aconselhável fazer dobragens no aço inox, o que implica a utilização de acessórios que aumentam as perdas de carga singulares. Os outros materiais apresentam problemas de corrosão e oxidação.

O isolamento das tubagens é muito importante para minimizar as perdas térmicas. Devem ter uma espessura mínima de 30 - 40 mm e uma boa resistência à variação de temperatura (150 – 170 °C). As condutas externas devem ser resistentes aos UV e impermeáveis.

2.5.2. FLUIDO DE TRANSFERÊNCIA TÉRMICA

O fluido de transferência de calor transporta o calor dos coletores solares para o permutador de calor. Ao selecionar um fluido de transferência de calor deve-se ter em consideração os seguintes critérios [18]:

- Coeficiente de expansão;
- Viscosidade;
- Capacidade térmica;
- Temperatura de congelamento;
- Temperatura de ebulição;
- Temperatura de inflamação.

Por exemplo, num clima frio, os sistemas de aquecimento solar de água necessitam de líquidos com uma baixa temperatura de congelamento. Os fluidos expostos a altas temperaturas devem ter um ponto de ebulição alto. A viscosidade e a capacidade térmica determinam o consumo de energia da bomba. Um fluido de baixa viscosidade e baixo calor específico é fácil de ser bombeado, porque é menos resistente à circulação e transfere mais calor. Outras propriedades que determinam a eficácia de fluido são a corrosividade e a estabilidade do mesmo.

A água pode ser utilizada como fluido de transferência, não é tóxica e é barata. Com um baixo calor específico, e uma viscosidade baixa é fácil de bombear. Mas tem as suas contrapartidas, apresenta um ponto de ebulição relativamente baixo e um ponto de congelamento elevado. Também pode ser corrosiva se o pH não for mantido num nível neutro. Água com alto teor de minerais pode causar depósitos minerais nas tubagens do sistema.

A maior parte dos sistemas solares térmicas utilizam como fluido térmico uma mistura de água desmineralizada e anticongelante (Figura 19). Este protege os coletores do perigo de congelamento do fluido e aumenta a temperatura de ebulição do mesmo.



Figura 19 - Líquido Solar [19]

Geralmente é utilizado etileno glicol (anticongelante). Este tem propriedades anticorrosivas (com a adição de inibidores) que protegem os componentes metálicos do circuito e evitam o aparecimento de depósitos de calcário. Estes devem ser utilizados com uma diluição de acordo com a temperatura de congelamento pretendida (Quadro 7), geralmente entre 25% e 60%, nunca mais do que isso.

Quadro 7 – Dados técnicos [19]

% Concentração de Glicol	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
Temp. Congelação	-10	-13	-18	-21	-25	-32	-42	-50
Temp. Ebulição 2 atm	127	128	129	130	131	132	132	133
Temp. Ebulição 6 atm	175	176	177	178	179	181	181	182

A utilização de etileno glicol também melhora as propriedades térmicas do fluido do circuito solar, dado que tem um calor específico inferior ao da água. Este degradando-se ao longo do tempo e normalmente, deve-se trocar a cada 3 - 5 anos [18]. A degradação é afetada pelas elevadas temperaturas que se podem registar nos coletores solares (temperatura de estagnação). A avaliação do seu estado deve ser feita por um técnico habilitado.

2.5.3. VASO DE EXPANSÃO E VÁLVULA DE SEGURANÇA

Os coletores solares podem atingir temperaturas muito elevadas. Em consequência o líquido de transferência de calor sofre variação de volume. O vaso de expansão (Figura 20) tem por função absorver essas variações de volume e pressão do sistema. É um pequeno depósito geralmente dividido no seu

interior com uma membrana elástica. Pode ser enchido com ar ou um gás inerte a pressão de serviço. Este deve ser instalado no circuito de alimentação do coletor, onde a temperatura do fluido é menor. Existem vasos de expansão com membrana e sem membrana.

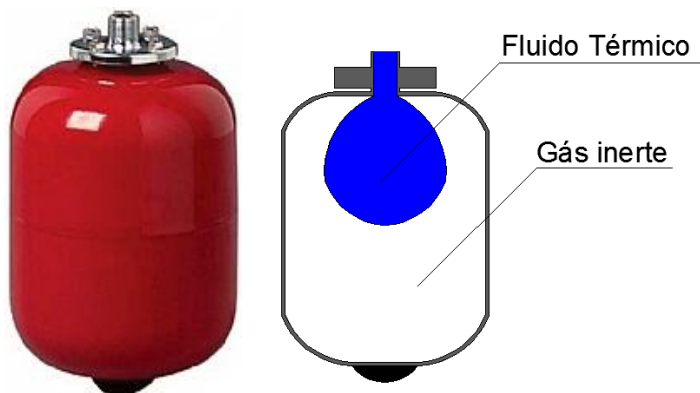


Figura 20 - Vaso de expansão [20]

Com o funcionamento do sistema e com o consequente aquecimento do líquido de circulação vai sofrer um aumento de volume, voltando à sua posição inicial com a diminuição da temperatura. Com esse aumento a membrana do vaso vai dilatar, ficando a massa de ar comprimida. A membrana deve ser resistente ao líquido de circulação que pode ser constituído por água/glicol.

2.5.4. BOMBA DE CIRCULAÇÃO

A bomba de circulação (Figura 21) é utilizada no sistema de circulação forçada. Esta é dimensionada para compensar as perdas de carga no sistema. O uso de energia elétrica para o funcionamento das bombas deve ser mantido o mais baixo possível. Deve-se evitar por isso o sobre dimensionamento da mesma.



Figura 21 - Exemplo de bomba de circulação [21]

As bombas utilizadas são de eixo húmido, sendo o fluido térmico utilizado para lubrificar e refrigerar o eixo da bomba. Estas são caracterizadas pela sua potência e tensão de funcionamento, mas existem diferenças nas ligações e na aplicação. Existem bombas circuladores para águas sanitárias e para aquecimento, diferenciando os materiais utilizados. As bombas que estejam em contato com a água de consumo têm de ser constituídas por um corpo em latão, bronze ou em aço inox. No caso de bombas para

aquecimento normalmente é utilizado o ferro fundido, sendo menos resistente mais também mais barato.

Para o correto funcionamento as seguintes regras devem ser respeitadas na sua instalação:

- O eixo do motor deve ser sempre instalado na horizontal quer a bomba seja instalada na vertical ou na horizontal. Uma instalação incorreta pode originar uma lubrificação incorreta da mesma;
- Deve ser instalada em linha com a tubagem e o sentido de escoamento deve ser respeitado. O sentido de escoamento deve ser preferencialmente horizontal ou vertical no sentido ascendente;
- Quando a bomba é instalada na horizontal a caixa de ligação deve ficar na parte superior da mesma;
- Deve ser instalada na parte mais baixa do sistema.

A bomba deve ficar localizada no circuito de retorno onde a temperatura é menor. Outra utilização da bomba é no circuito secundário entre o permutador de calor e o depósito de acumulação, aplica-se quando são utilizados permutadores externos.

2.5.5. PRINCIPAIS VÁLVULAS DO SISTEMA

Quadro 2.7 - Válvulas de Sistema de Circulação

Válvula de Corte



As válvulas de corte permitem interromper totalmente ou parcialmente a passagem do fluido pelas tubagens.

- O fecho total isola uma parte do sistema para manutenção por exemplo
- Um fecho parcial serve para produzir uma perda de carga adicional de forma a equilibrar a instalação.

Estas devem ser indicadas para as temperaturas limites de funcionamento do sistema.

Válvulas de Três vias



Permitem a circulação do fluido por diversas vias alternativas, no caso de o sistema ter múltiplas aplicações (AQS, piscina ou climatização) ou quando se pretende fazer um bypass a um equipamento de energia de apoio.

Podem ser automáticas, sendo o seu funcionamento acionado pelo comando diferencial.

Estas devem ser indicadas para as temperaturas limites de funcionamento do sistema.

(Continuação)

Válvula Misturadora Termostática



A colocação de uma válvula misturadora termostática a saída do depósito de acumulação, permite a mistura de água fria da rede com a água quente do depósito para uma dada temperatura regulada.

A sua utilização:

- Possibilita a extração de maiores volumes de água;
- Promove a utilização racional de energia;
- Pode evitar queimaduras.

Existem diferentes limites de funcionamento e de regulação.

Válvula de retenção



As válvulas de retenção permitem a passagem do fluido num sentido, impedindo-a em sentido contrário.

Utilizam-se no circuito primário e na entrada de água fria dos depósitos. Nos sistemas em termossifão apenas é recomendada válvulas com perdas de carga associadas muito baixas.

No circuito primário, deverá ser colocada no retorno do fluido, antes do vaso de expansão. Deve ser possível abrir a mesma caso seja necessário drenar o circuito.

Válvula de segurança



São obrigatórias em todos os circuitos submetidos a pressão e a variações de temperatura, e servem para limitar a pressão nesse mesmo circuito

No circuito primário coloca-se junto ao vaso de expansão

Coloca-se também junto a entrada de água fria dos depósitos de acumulação.

Não deve haver nenhuma válvula entre a válvula de segurança e o circuito ou o depósito a proteger.

Devem ser manuseadas periodicamente, em operações de manutenção para não bloquearem.

Válvula de enchimento automático



A válvula de enchimento automático é utilizada em circuitos com vaso de expansão fechados onde não há controlo da diminuição de pressão do sistema, colocando em risco os elementos da instalação.

Quando a pressão exercida pelo fluido no interior da instalação for menor do que a exercida pela mola da válvula de enchimento automático na membrana, a válvula vai abrir e permitir a entrada de água da rede para equilibrar a pressão no interior do circuito primário.

(Continuação)

Válvula de Balanceamento com caudalímetro



Permite a leitura direta do caudal, com a possibilidade de ser regulado por uma válvula de esfera provocando uma perda de carga.

2.5.6. OUTROS COMPONENTES

O purgador de ar (Figura 22) é um componente fundamental para o correto funcionamento de um sistema solar. Este tem por função purgar o ar do sistema. Devem ser localizados nos pontos altos do sistema onde se pode acumular ar.



Figura 22 – Purgador de ar [22]

O volume do purgador deve ser maior que 100 cm^3 , este volume pode diminuir se a saída do coletor e antes do permutador de calor se colocar um purgador automático.

Em caso de se utilizar purgadores automáticos devem ser colocados dispositivos de purga manual. Na possibilidade de prever a formação de vapor no circuito deve-se evitar a utilização de purgadores automáticos.

2.5.7. SISTEMAS DE CONTROLO

O sistema de controlo (Figura 23) deve ser o mais simples possível e tão complexo quanto necessário. Estes têm por função otimizar a gestão da energia. É um dispositivo eletrónico que age como um “cérebro” do sistema. A sua principal função é determinar se existe energia solar disponível. Dependendo do sistema, o circuito de controlo pode incluir vários componentes como um controlador, sensores de temperatura e de pressão, bombas, caudalímetros, manómetros e válvulas de três vias.



Figura 23 – Controladores Solares [23]

No mercado existem alguns tipos de controladores. Os sistemas de controlo diferencial são os mais utilizados. Estes regulam o funcionamento da bomba através de dois sensores que determinam se existe energia disponível para fazer a permutação de calor. Os sensores estão localizados na parte mais fria do sistema e na parte mais quente. Controladores com capacidade de ajustar o caudal em função da temperatura de saída do coletor tornam o sistema mais eficiente. Um terceiro sensor de temperatura pode ser localizado na parte superior do depósito acumulador para limitar uma temperatura máxima, permitindo controlar o sistema auxiliar. Na Figura 24 esquematiza-se um possível ligação do controlador solar.

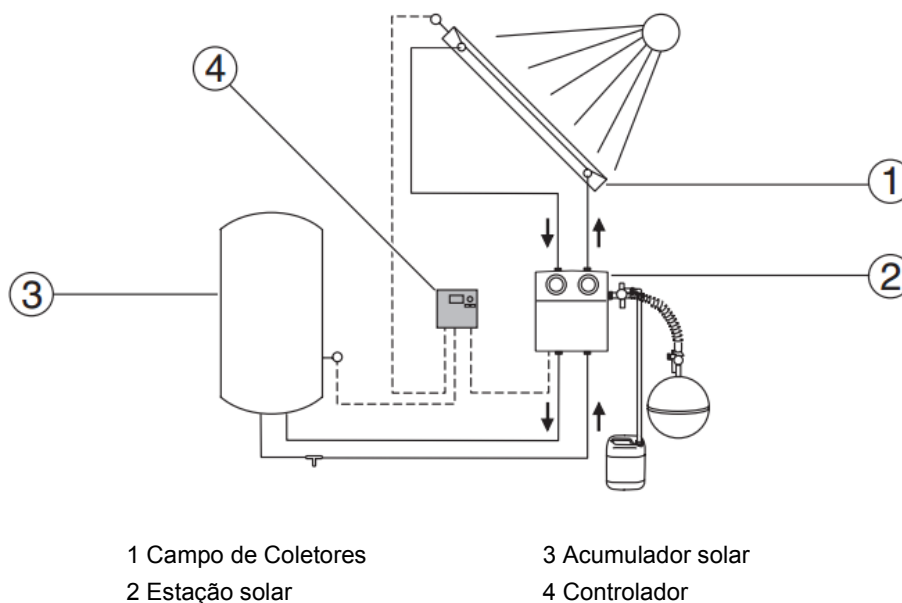


Figura 24 – Esquema do sistema de energia solar [24]

Outra alternativa de controlo é utilizando um painel fotovoltaico para comandar a bomba [2]. O princípio de funcionamento é assente no facto de quando existir maior radiação solar a bomba trabalhar com um maior caudal. Em contrapartida, quando a radiação solar é baixa, a energia fornecida será menor, conduzindo a um caudal menor. Este sistema permite eliminar a necessidade de fonte de energia auxiliar para fazer funcionar a bomba.

2.6. SISTEMA AUXILIAR DE AQUECIMENTO

Para garantir a necessidade de AQS nos períodos de menor irradiação solar é necessário prever um sistema auxiliar. Este entra em funcionamento só quando é estritamente necessário, de forma a maximizar a energia solar captada.

O sistema solar pode ser integrado no sistema de acumulação ou estar paralelo ao mesmo. A regulamentação espanhola proíbe o fornecimento de energia auxiliar diretamente ao depósito de acumulação, independentemente da fonte [2]. A solução na Figura 25 apresenta um nível de conforto elevado para os ocupantes da habitação.

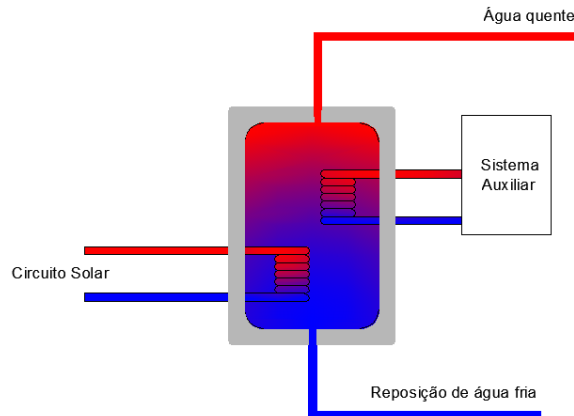


Figura 25 - Sistema auxiliar integrado [2]

Uma alternativa a esta solução consiste na utilização de um depósito auxiliar, com um volume menor e de preferência ligado em série, facilitando assim o equilíbrio hidráulico (Figura 26).

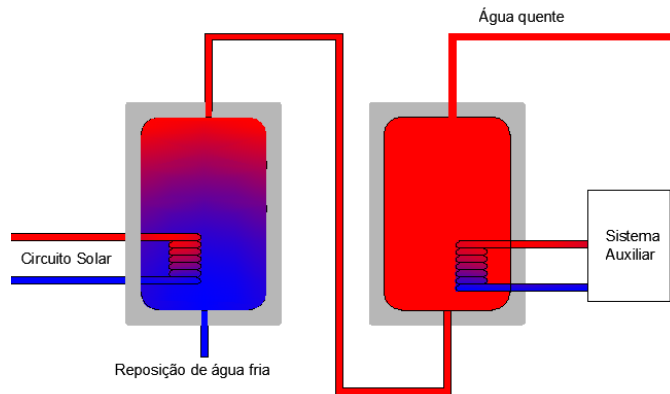


Figura 26 – Ligação em série a um segundo depósito com sistema auxiliar integrado [2]

A outra possível configuração é o sistema auxiliar ser colocado em série com o consumo. Neste sistema a temperatura é constantemente monitorizada, sendo aquecida a temperatura desejada caso seja necessário ou misturada com água fria para baixar a temperatura prevenindo assim queimaduras. Estes sistemas devem ser de aquecimento instantâneo, tipo um esquentador.

2.7. AGRUPAMENTO DE COLETORES

O desenho do sistema de captação solar requer um correto equilíbrio hidráulico, devendo os coletores ser colocados de uma forma adequada. As conexões podem ser realizadas em série ou paralelo, existindo limitações ao número de ligações em série e paralelo.

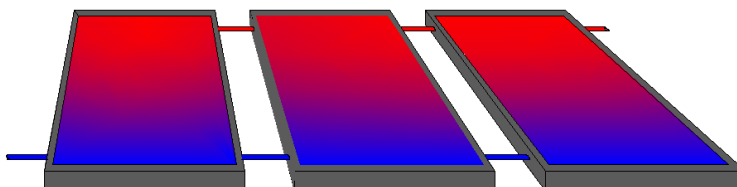


Figura 27 – Ligação em Paralelo

Na conexão em paralelo (Figura 27) faz-se circular o mesmo caudal através de cada coletor, sendo o caudal total o somatório de todos os caudais individuais que circulam por cada um dos coletores. Quando grupos de coletores são ligados em paralelo as tubagens de impulso e retorno devem ter a mesma perda de carga, para o sistema funcionar em equilíbrio hidráulico. A perda de carga do agrupamento dos coletores é igual à perda de carga de um coletor [8].

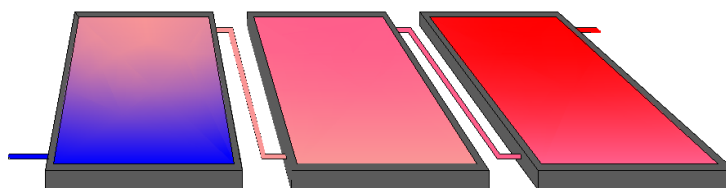


Figura 28 – Ligação em Série

Na conexão em série (Figura 28) o caudal é o mesmo à entrada e em cada coletor. Por esse motivo se conseguem temperaturas maiores à saída do coletor. À medida que se vai aumentando a conexão de coletores em série, o rendimento de cada coletor adicionado vai diminuir devido ao aumento da temperatura.

Quando a instalação é de média ou grande dimensão, são utilizadas combinações em série e paralelo, convenientemente calculadas para que a distribuição interna do fluido seja tão uniforme quanto possível. Comparando a potência da ligação em série e paralelo torna-se evidente a vantagem de se utilizar a conexão em paralelo (Figura 29). Com o aumento dos coletores em série estes tendem para a temperatura de estagnação, sendo uma indicação das máximas conexões que se devem realizar. A partir de determinado número a potência disponível é constante.

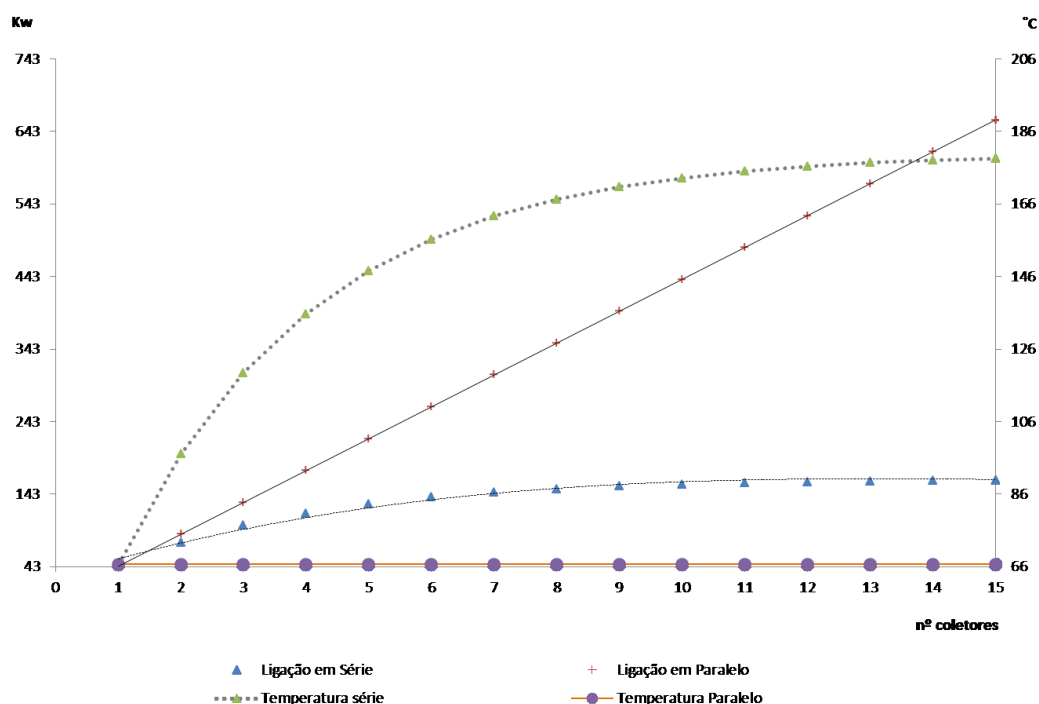


Figura 29 - Ligação em Série vs Paralelo

Nas instalações unifamiliares são utilizadas as ligações em paralelo pela vantagem evidenciada. Consequindo maior potência e rendimento e uma menor perda de carga no sistema.

2.8. TEMPERATURA DE ESTAGNAÇÃO

No caso de instalações que possam ficar em estagnação, é frequente desaparecer o fluido do circuito primário devido à ebulição. Estas podem acontecer devido a períodos de grande paragem do sistema solar, devido a falta de consumo ou avarias.

A exposição dos componentes do sistema solar a elevadas temperaturas pode provocar alguns problemas nos componentes:

- Funcionamento defeituoso dos acessórios e perda de fluido térmico;
- Ativação da válvula de segurança;
- Choques térmicos na rede de distribuição de fluido térmico.

Existem diversas soluções, mas algumas são de difícil execução:

- Dimensionar o sistema para ter uma pressão na zona dos coletores, superior à tensão de vapor correspondente à temperatura de estagnação (possível com coletores com temperatura de estagnação não muito elevadas);
- Alteração do vaso de expansão e sobredimensionamento para receber o líquido expulsado dos coletores pelo vapor. De realçar que as soluções construtivas, do coletor e a ligação entre coletores, são determinantes para o bom funcionamento desta solução;
- Controlo da circulação, no caso da circulação forçada deve para a bomba;
- No caso do sistema de termossifão;

- Descargas de água quente (válvula pressostáticas do tipo “Watt”)
- Tubos de calor que dissipem a energia do depósito acima de temperatura de segurança
- By-passes termostáticos de segurança térmica
- Eliminação do isolamento da tubagem de alimentação dos coletores (solução acarreta algumas perdas)
- Com temperaturas de estagnação muito elevadas não é possível utilizar purgadores automáticos, recomenda-se o sobre dimensionamento do vaso de expansão.
- Esvaziar o circuito primário;
 - Automático quando a bomba para (sistema “drain back”)
 - Manual para prevenir danos durante o período sem utilização
- Cobrir os coletores, de preferência com uma rede sombreadora (pouco prático).

3

PRINCÍPIOS DE
DIMENSIONAMENTO

3.1. CONCEITOS BÁSICOS

O objetivo do sistema solar Térmica é proporcionar aos utilizadores uma instalação que optimize o consumo energético global em combinação com os restantes equipamentos técnicos do edifício, minimizando os custos com o aquecimento da AQS.

O dimensionamento da instalação solar geralmente é realizado com base numa percentagem de cobertura do aquecimento da AQS. Esta cobertura é definida como o cociente entre a energia captada e a energia necessária, denominado de fator solar.

$$f = \frac{E_u}{Q_a} \quad (11)$$

FS - Fação Solar.

E_u – Energia fornecida pela instalação solar (entregue ao acumulador, corresponde ao E_{solar} do RCCTE) – energia útil.

Q_a - Necessidades de Energia.

Outro conceito importante é o rendimento, definido como o quociente entre a energia captada pela instalação e a energia solar incidente relativamente a um dado período de tempo.

$$\eta = \frac{E_U}{I_g \cdot A_c} \quad (12)$$

I_g - Irradiação solar incidente sobre o coletor (W/m^2).

A_c – Área útil do coletor solar.

Se a fração solar for aumentada, pelo aumento da área dos coletores solares a eficiência do sistema vai diminuir. Todos os Kilowatt por hora que forem ganhos serão mais caros. Na Figura 30 e Figura 31 apresenta-se um exemplo de uma instalação para um consumo médio diário de 200 litros (unifamiliar) e de 1200 litros (multifamiliar).

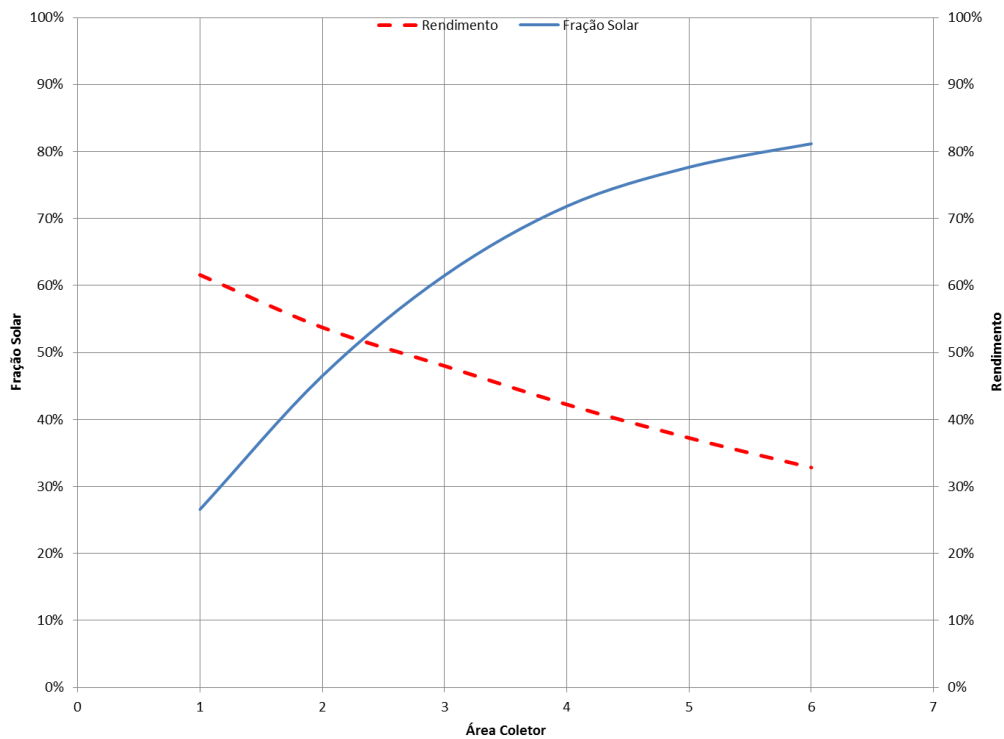


Figura 30 – Pequena Instalação

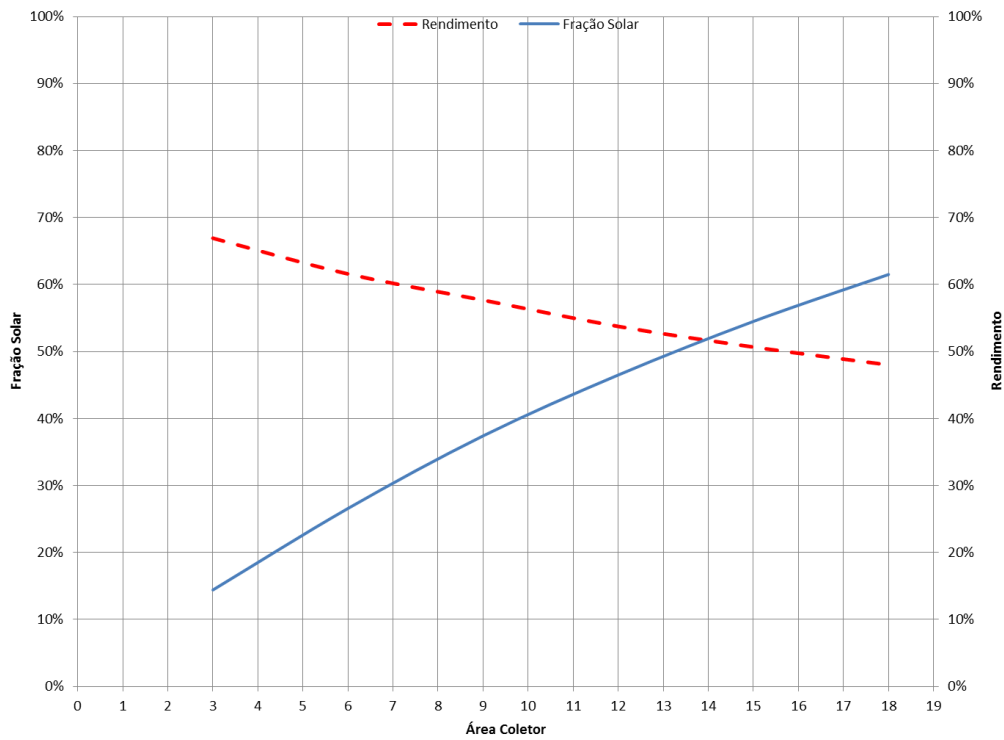


Figura 31 – Grande Instalação

3.2. ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DO COLETOR

A fim de maximizar a produção de energia de uma instalação solar tem que se ter em conta diversos fatores. Como se referiu no capítulo 2, o azimute e a altura solar variam ao longo do dia e do ano. A orientação e inclinação ótimas seriam obtidas com um coletor que seguisse a orientação e inclinação do sol. Nas instalações solares térmicas de baixa temperatura é adotada uma orientação e inclinação fixa ao longo do ano. Tal orientação deve ser escolhida para consumos dispersos no tempo ou concentrados (no caso do Verão ou Inverno).

A inclinação dos coletores sobre um plano horizontal é determinada tendo em conta a latitude geográfica e o período de utilização da instalação (períodos de consumo), sendo recomendados os valores do Quadro 8 [14].

Quadro 8 - Inclinação ótima

Período de Utilização	Inclinação
Anual, consumo Constante	β
Preferencialmente no Inverno	$\beta + 10$
Preferencialmente no Verão	$\beta - 10$
β – Latitude do Local	

Outra utilidade de se variar a inclinação é minimizar os desperdícios nos meses de Verão e aumentar a energia captada no Inverno. Neste caso passaria por aumentar a inclinação do coletor.

3.3. NECESSIDADE DE AQUECIMENTO AQS

Para avaliar as necessidades de AQS são seguidas as orientações do Despacho (extra) n.º 15793-I/2013. Num edifício de habitação, o consumo médio diário de referência será calculado de acordo com a seguinte expressão:

$$M_{AQS} = 40 \cdot n \cdot f_{eh} \quad (13)$$

Com:

n - Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração sendo que se deve considerar 2 ocupantes no caso da tipologia T0, e $n+1$ ocupantes nas tipologias do tipo Tn com $n > 0$.

f_{eh} - Fator de eficiência hídrica, aplicável a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com um sistema de certificação de eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente reconhecida pelo sector das instalações prediais. Para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo A ou superior, $f_{eh} = 0,90$, sendo os restantes casos, $f_{eh} = 1$.

A temperatura de consumo de AQS ronda os 40°C acima desta temperatura deverá haver cuidados para evitar queimaduras. Um consumo de 40 litros a 60°C corresponderá a 60 a 70 litros à temperatura de consumo de aproximadamente (40°C).

O consumo energético para aquecimento de AQS é determinado anteriormente ao cálculo da instalação solar. Os fatores que influenciam este consumo são o consumo de água quente, temperatura de

consumo e a temperatura da água de reposição. As necessidades médias mensais são calculadas pela expressão (14).

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot c_p \cdot \rho_{\text{água}} \cdot (\theta_{\text{cal}} - \theta_{\text{red}}) \cdot n_d}{3600000} \quad (14)$$

Com:

Q_a - Necessidades médias mensais de energia (KWh).

M_{AQS} - Consumo diário de água quente sanitária (l/dia).

c_p - Calor específico da água (4,187 KJ/(Kg · °C)).

$\rho_{\text{água}}$ - Massa específica da água (Kg/m³).

θ_{cal} - Temperatura da água para consumo (°C).

θ_{red} - Temperatura média mensal da água da rede (°C).

n_d - Número de dias.

O consumo de água quente é que mais influencia o funcionamento da instalação solar. Quando se trata de um edifício já construído é possível a determinação do consumo de água quente sanitária durante um determinado tempo.

Na prática não se tem esses valores quando se trata de um edifício em construção. A estimativa do consumo é realizada utilizando valores médios de referência que variam em função do edifício.

A temperatura máxima de uso nas instalações de tipo habitacional é de 60°C. Segundo a norma 94002:2005 o consumo diário de água quente a 60 °C é mostrado no Quadro 9 [14].

Quadro 9 – Necessidade de AQS

Tipo de edifício	Consumo diário de referência a 60 °C
Moradia unifamiliar	30 l/pessoa (40 l/pessoa)
Edifício Multifamiliar	22 l/pessoa
Hospital ou Clínica	55 l/pessoa
Hotel ****	70 l/pessoa
Hotel ***	55 l/pessoa
Hotel/Residencial **	40 l/pessoa
Residencial/Pensão	35 l/pessoa
Campismo	40 l/pessoa
Lar de idosos ou estudantes	55 l/pessoa
Escola (refeições)	3 l/pessoa
Quartel	20 l/pessoa
Fábrica ou oficina	15 l/pessoa
Escritório	3 l/pessoa
Ginásio	20 a 25 l/pessoa
Lavandarias	3 a 5 l/Kg de roupa

O consumo de água quente a temperatura distinta da de referência é calculado pela seguinte expressão:

$$M_{AQS}^{\theta_{cons}} = M_{AQS}^{60^{\circ}\text{C}} \cdot \left(\frac{60 - \theta_{red}}{\theta_{cons} - \theta_{red}} \right) \quad (15)$$

Onde:

$M_{AQS}^{\theta_{cons}}$ - Consumo de água quente sanitária a temperatura desejada (l/dia).

$M_{AQS}^{60^{\circ}\text{C}}$ - Consumo de água quente sanitária a 60 °C (l/dia).

θ_{red} - Temperatura média mensal da água da rede (°C).

θ_{cons} - Temperatura da água para consumo desejada (°C).

3.3.1. TEMPERATURA DE UTILIZAÇÃO

Como já se viu o consumo de água quente está associada a uma determinada temperatura. Esta temperatura tem por objetivo prevenir e controlar o aparecimento de legionella.

A bactéria legionella é um componente natural da água. A sua concentração é pequena em água fria por isso não é perigosa. Para temperaturas entre 35 a 45 °C multiplicam-se muito rapidamente, sendo estas destruídas para temperaturas superiores a 50 °C. Quanto maior for a temperatura mais rápida é a sua destruição (sendo quase instantânea a 70 °C). A bactéria desde que seja ingerida pelo sistema digestivo não apresenta perigo para a saúde. O perigo ocorre quando entram para o sistema respiratório. Grandes concentrações de legionella ocorrem em sistemas com grandes tanques de armazenamento de água quente, condutas compridas e onde a água permaneça muito tempo em repouso.

Em sistemas de pequenas dimensões, ou seja, sistemas para uma ou duas famílias o risco é quase nulo. Para pequenos volumes de acumulação e sistemas de depósitos acima dos 400 litros, mas com linhas de tomada de água quente até 3 litros não requerem cuidados especiais. Uma instalação unifamiliar é considerada uma instalação de risco baixo [8, 25].

3.3.2. TEMPERATURA DE ENTRADA DE ÁGUA FRIA

O consumo de energia depende diretamente da temperatura da água fria, aumentando o consumo de energia com a diminuição da temperatura da água. A temperatura da água depende do clima da zona, a época do ano, do sistema de abastecimento, etc [2].

Na Figura 32 representa-se a distribuição da temperatura da água fria ao longo do ano com a temperatura de consumo.

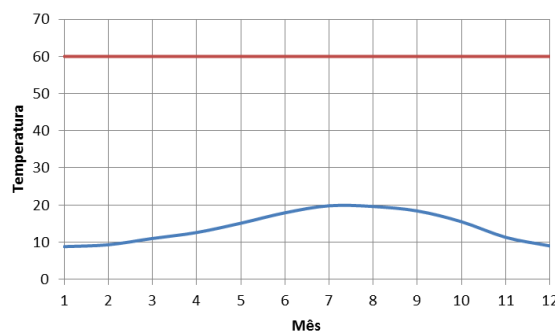


Figura 32 – Variação da temperatura

A partir da diferença de temperatura pode-se calcular o consumo de energia (Figura 33).

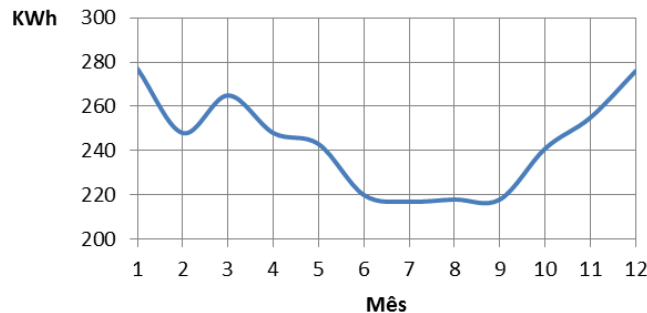


Figura 33 – Variação das necessidades de aquecimento

Caso não seja conhecida a temperatura da água pode-se utilizar os 15 °C como valor de referência.

3.4. FORNECIMENTO DE ENERGIA SOLAR

O dimensionamento básico da instalação solar para produção de água quente sanitária consiste na determinação das superfícies de captação e do volume de armazenamento.

Nas vivendas unifamiliares dimensiona-se de maneira a cobrir as necessidades energéticas a 100% durante os meses de Verão. Durante os restantes meses as necessidades de energia são cobertas por um sistema auxiliar.

Geralmente dimensiona-se as instalações solares de maneira a que a fração solar anual esteja compreendida entre 60% a 80%. Deve-se minimizar os excedentes de energia no Verão, evitando potenciais situações de sobreaquecimento.

3.4.1. MÉTODO F-CHART

O método F-Chart pode ser utilizado para o dimensionamento da área de captação. Este método permite calcular a fração solar e o rendimento médio anual, baseando-se em correlações obtidas a partir de dados experimentais. A expressão utilizada é a seguinte [26]:

$$f = 1.029D_1 - 0.065D_2 - 0.245D_1^2 + 0.0018D_2^2 + 0.0215D_1^3 \quad (16)$$

Sendo:

f – Fração Solar.

D_1 e D_2 - Parâmetros.

O rendimento é determinado pela relação entre a energia útil e a incidente na superfície.

$$\eta = \frac{f \cdot Q_a}{I_g \cdot A_c} \quad (17)$$

Com:

Q_a - Necessidades de energia.

I_g - Irradiação solar incidente sobre o coletor.

A_c – Área útil coletor.

O cálculo dos parâmetros é detalhado no anexo A1. A sequência de cálculo é a seguinte:

- Calcular as necessidades mensais de energia para aquecimento de AQS;
- Radiação solar Incidente na superfície dos coletores;
- Cálculo do parâmetro D1;
- Cálculo do parâmetro D2;
- Determinação da fração solar utilizando a expressão (16);
- Avaliação da cobertura solar mensal;
- Avaliação da cobertura solar anual e do rendimento;
- Comparação com a fração solar desejada.

O método F-Chart encontra-se amplamente informatizado. A maioria dos programas que se encontra no mercado para o dimensionamento das instalações solares está baseada neste método [26].

3.4.2. MÉTODO ORIENTADO A PARTIR DO RENDIMENTO

Este método de cálculo utiliza o rendimento médio e a fração solar esperada. É um procedimento mais simples para calcular a área de captação. Aplica-se a seguinte expressão:

$$f = \frac{A_c \cdot I_g \cdot \eta}{Q_a} \quad (18)$$

Resolvendo em ordem a A_c temos:

$$A_c = \frac{f \cdot Q_a}{I_g \cdot \eta} \quad (19)$$

Este cálculo é aproximado porque o rendimento médio depende do desenho da instalação, principalmente da curva de rendimento dos coletores utilizados.

3.5. VOLUME DE ACUMULAÇÃO

O depósito de acumulação deve ter a capacidade de armazenar AQS para o consumo diário. O dimensionamento do depósito de acumulação deve suportar o perfil de consumo ou seja:

- Tipo de utilização;
- Períodos de utilização;
- Carga diária;
- Temperatura de utilização.

Estas condicionantes são descritas em três fatores:

- Superfície do coletor solar térmico instalado; o volume ótimo de acumulação depende das características do coletor, do local e das características de consumo diário. Valores superiores não provocam maiores economias [6];
- Temperatura de utilização; regulamentarmente a temperatura de acumulação está fixada em 60 °C. Mas a distribuição deve ser o mais baixo possível. Em banhos por exemplo a temperatura deve ser na ordem dos 36 a 40 °C;
- Desfasamento entre o período de captação, armazenamento e consumo.

Os valores médios de consumo por habitante na vertente doméstica, a temperatura aproximada de 45 °C são os seguintes:

- Consumo baixo: 20 a 30 l;
- Consumo médio: 30 a 50 l;
- Consumo elevado 50 a 70l.

Normalmente recomenda-se a seleção de um volume de acumulação semelhante ao consumo de água quente diária. Para volumes muito grandes a energia armazenada é maior, mas não é utilizada. Mas este excesso de energia armazenado pode ser utilizado para um dia com menor irradiação solar.

O volume de acumulação deve ser tal que se cumpra a condição [14]:

$$50 < \frac{M_{AQS}}{A_c} < 180 \quad (20)$$

M_{AQS} - Consumo diário de água quente sanitária l/dia.

A_c - Superfície do coletor, correspondente à área de abertura transparente (m²).

Por cada metro quadrado de coletor deve-se ter 50 litros a 180 litros. Segundo este princípio para um consumo de 30 l/pessoa deve-se ter um coletor com 0,6 m². Outra metodologia recomenda que o volume seja determinado como 1.5 a 2 vezes o consumo diário mensal [14].

Sendo o perfil de consumo um fator no dimensionamento do volume de armazenamento será importante entender a sua importância no sistema solar térmico. No Quadro 10 foi realizada uma análise para o caso de estudo considerando dois cenários:

- A totalidade do consumo de água quente é realizada entre as 18 e 20 horas.
- A totalidade do consumo de água quente é realizada entre as 8 e 10 horas.

A simulação foi realizada recorrendo ao programa Solterm 5.0. o coletor utilizado foi o do caso de estudo descrito posteriormente. Com o aumento do volume de armazenamento chegou-se à conclusão que a fração solar era otimizada com o aumento do volume de acumulação, para o perfil de consumo das 8 às 10 horas (Quadro 10).

Quadro 10 – Variação do consumo

	Consumo 8h – 10h					Consumo 18h – 20h				
Volume	100	200	300	400	500	100	200	300	400	500
Fração solar	37,5	43,4	44,3	44,7	44,8	44	48,4	48	47,8	47
η Global	36	41	42	43	43	42	46	46	45	45
Fornecido(KWh)	1290	1493	1524	1536	1541	1512	1664	1649	1631	1616
Apoio (KWh)	2148	1945	1914	1902	1897	1925	1774	1789	1807	1821

Nota: esta simulação foi realizada mantendo constante o coeficiente de perdas térmicas global em 2,0 W/K.

Analisando o problema com um consumo distribuído entre a manhã e na noite Quadro 11. Podemos constatar que o aumento do volume de armazenamento não se traduziu numa diminuição da fração solar. Em contra partida a fração solar será menor com o aumento do volume de acumulação, para um consumo das 18 as 20 horas.

Quadro 11 – variação do consumo (distribuído)

Volume Acumulação	100	200	300	400	500
Fração solar	37,5	43,4	44,3	44,7	44,8
Rendimento global	36	41	42	43	43
Fornecido (KWh)	1290	1493	1524	1536	1541
Apoio (KWh)	2148	1945	1914	1902	1897

Nota: esta simulação foi realizada Mantendo constante o coeficiente de perdas térmicas global em 2,0 W/K.

Quando se aumentou à área dos coletores para duas unidades ficou mais evidente a utilização de uma volume maior que o consumo diário, para um consumo desfasado no tempo.

Contudo não se deve utilizar volumes demasiados grandes, tanto por fatores económicos como por renovação da água de armazenamento. A utilização de um volume maior é fundamentada com a possibilidade de um dia a irradiação solar ser menor, sendo assim possível diminuir o consumo de energia auxiliar nesse dia.

3.5.1. Espessura mínima de Isolamento

O depósito de armazenamento de AQS deve cumprir a espessura mínima do Quadro 12 em função da área da envolvente [13].

Quadro 12 - Espessura mínima de isolamento para equipamentos e depósitos

Equipamentos e depósitos de acumulação ou de inércia dos sistemas de climatização e AQS		
	Superfície $\leq 2 \text{ m}^2$	Superfície $> 2 \text{ m}^2$
Espessura (mm)	50	80

Regulamentada uma espessura mínima de isolamento os sistemas de preparação de AQS com recurso a termoacumuladores elétricos devem cumprir com o requisito indicado ou outro equivalente previsto em diretivas europeias aplicáveis (Quadro 13). Calculadas as perdas estáticas em termoacumuladores através do Quadro 13 em função do volume de acumulação pode-se determinar o seu rendimento pelo Quadro 14.

Quadro 13 - Valores limites de perdas estáticas em termoacumuladores

Volume V (l)	Dispersão Térmica Q_{pr} [KWh/24h]
$V \leq 200$ l	$Q_{pr} \leq (21 + 10,33 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$200 < V < 500$ l	$Q_{pr} \leq (26 + 13,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$500 < V < 1000$ l	$Q_{pr} \leq (31 + 16,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$
$1000 < V < 2000$ l	$Q_{pr} \leq (38 + 16,66 \cdot V^{0,4}) \cdot 24/1000$

Quadro 14 - Valores de eficiência de termoacumuladores em função de Q_{pr}

Intervalos de Q_{pr} [KWh/24h]	Eficiência
$Q_{pr} < 1$	0.97
$1 \leq Q_{pr} < 1,5$	0.95
$Q_{pr} \geq 1,5$	0.93

3.6. SISTEMAS AUXILIARES

Os sistemas solares térmicos não dão uma cobertura total das necessidades de aquecimento de AQS, por isso um sistema auxiliar é imprescindível dando continuidade ao fornecimento de AQS. Este deve ser dimensionado/selecionado para cobrir todas as necessidades de AQS sem considerar o sistema solar térmico. A questão que se põe é como escolher a melhor solução.

O sistema auxiliar irá afetar o desempenho energético do edifício, mas a seleção não se baseia somente em considerações energéticas. Por exemplo a escolha entre uma bomba de calor e uma caldeira a gás é mais provável ser baseada em preços de energia relativos e custo de manutenção do que em eficiências energéticas. Devem ser consideradas várias alternativas, mas apenas uma será escolhida para a implantação. Geralmente não se instalam dois equipamentos que satisfaçam a mesma necessidade, não faz sentido ter um esquentador e uma caldeira com capacidade de aquecimento de AQS. Outra perspectiva de análise não envolve a escolha de uma solução. Em vez disso, lida com a priorização de componentes, quando o financiamento é insuficiente para se implantarem todas as medidas [27].

Segundo a Portaria n.º 349-B/2013 os sistemas técnicos a instalar devem respeitar os requisitos de eficiência a seguir indicados (Quadro 15):

Quadro 15 - Rendimento nominal de caldeiras e esquentadores

	Classe de eficiência energética	Rendimento nominal (η)
	A++	$\eta \geq 96\%$
Caldeiras	A+	$96\% \geq \eta > 92\%$
	A	$92\% \geq \eta > 89\%$
	B	$89\% \geq \eta > 86\%$
	C	$86\% \geq \eta > 83\%$
	D	$83\% \geq \eta > 80\%$
	E	$80\% \geq \eta > 77\%$
	F	$\eta \leq 77\%$
Esquentador	Potência (KW)	Rendimento
	$\leq 10KW$	$\geq 0,82$
	$> 10KW$	$\geq 0,84$

Para as caldeiras são impostos requisitos mínimos de eficiência energética. A classe mínima de eficiência energética é a classe B, sendo a partir de 31 de Dezembro de 2015 a classe A.

3.7. PERMUTADOR DE CALOR

Como já se viu o permutador de calor pode ser externo ou interno ao sistema de armazenamento. Os permutadores internos com tubos lisos podem ser dimensionados com base numa superfície de troca térmica de cerca de 35 – 40 % da superfície útil dos painéis. Em todo o caso nunca deve ser inferior a 15%.

No caso do permutador externo a potência mínima pode ser dimensionado com base em relações simples. Para as horas de maior radiação solar uma radiação de 1000 W/m^2 e um rendimento de conversão de 50% a potência é calculada pela expressão (21).

$$Pot \geq W/m^2 \cdot A_c \quad (21)$$

Com:

Pot - Potência permutador (W).

W/m^2 - Máxima radiação solar média

A_c - Superfície do coletor, correspondente à área de abertura transparente (m^2).

3.8. VASO DE EXPANSÃO

O vaso de expansão tem por função absorver as variações de volume do fluido térmico. Mantendo a pressão entre limites estabelecidos, impedindo ao mesmo tempo as perdas e reposição de fluido. O procedimento apresentado de seguida para o cálculo dos sistemas de expansão em circuitos fechados é válido até uma temperatura de 210°C .

O vaso de expansão é constituído por dois volumes. O volume útil que é determinado pelo coeficiente de expansão do fluido e o volume total. O volume total compreende o volume útil e de gás inerte.

O cálculo do vaso de expansão fechado segue os seguintes passos [28]:

- Calcular o volume total do circuito (tubagens, coletores, permutador);
- Determinar a temperatura máxima de funcionamento do sistema. Pode ser a temperatura de estagnação (depende do coletor) com um mínimo de 30°C para as redes situadas no interior e 40°C para redes situadas no exterior;
- Cálculo do coeficiente de expansão, com a temperatura máxima de funcionamento, tendo em conta a presença de uma solução anticongelante;
- Determinação da pressão de trabalho;
- Cálculo do coeficiente de pressão;
- Por último calcula-se o volume total do vaso de expansão.

O volume de expansão da água à temperatura de 4°C corresponde ao volume específico mínimo. À temperatura máxima de funcionamento do sistema pode-se expressar pela seguinte relação, função da temperatura:

Para temperaturas entre 30°C até 70°C (inclusive):

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot t + 0,0036 \cdot t^2) \cdot 10^{-3} \quad (22)$$

Para temperaturas entre 70°C até 140°C (inclusive):

$$C_e = (-33,48 + 0,738 \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (23)$$

Para temperaturas entre 140°C até 210°C (inclusive):

$$C_e = (-95 + 1,2 \cdot t) \cdot 10^{-3} \quad (24)$$

Com:

C_e - Coeficiente de expansão (adimensional).

t - Temperatura máxima de funcionamento (°C).

O coeficiente de expansão é sempre positivo e menor que a unidade. O aumento da temperatura é acompanhado por um aumento do diâmetro das tubagens. Quando o fluido térmico é constituído por uma solução de glicol etilénico em água, o coeficiente de expansão deve ser multiplicado por um fator de correção:

$$f_c = a \cdot (1,8 \cdot t + 32)^b \quad (25)$$

Onde:

$$a = -0,0134 \cdot (G^2 - 143,8 \cdot g + 1918,2)$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (G^2 - 94,57 \cdot G + 500)$$

Com G sendo a percentagem de glicol (%).

Válido para uma concentração de 20% a 50% do volume do fluido térmico e uma temperatura de 65°C até 115°C. O volume total do vaso de expansão deve ser igual a:

$$V_t = C_e \cdot C_p \cdot V_{circ} \quad (26)$$

Caso se preveja que o fluido do circuito primário possa evaporar, caso em que a pressão no circuito é inferior à pressão de vapor à temperatura de estagnação. O cálculo do volume útil passa a ser:

$$V_t = C_e \cdot C_p \cdot V_{circ} + V_{col} \quad (27)$$

Com:

V_t - Volume total vaso de expansão

C_e - Coeficiente de expansão (adimensional)

C_p - Coeficiente de pressão

V_{col} - Conteúdo do coletor (litros)

V_{circ} - Conteúdo total de líquido solar do circuito (litros)

O coeficiente de pressão é calculado a partir da expressão dos gases perfeitos, considerando que o aumento de volume tem lugar a temperatura constante. Este coeficiente é maior que a unidade, representando a relação entre o volume total e o volume útil do vaso de expansão. No caso de um vaso de expansão com diafragma temos:

$$C_p = \frac{P_M}{P_M - P_m} \quad (28)$$

Com:

P_m - Pressão mínima do Vaso de expansão

P_M - Pressão máxima do Vaso de expansão

A pressão mínima de funcionamento do vaso de expressão é escolhida da seguinte maneira:

- Em qualquer ponto do circuito e em qualquer regime de funcionamento da bomba de circulação a pressão é superior a pressão atmosférica;
- A pressão é superior à tensão de saturação do vapor de água a temperatura máxima de funcionamento.

A tensão de saturação de vapor da água pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot (T-273,15)}{T-36}\right)} \quad (29)$$

Onde T é a temperatura (K) e e_s (KPa)

O maior dos dois valores é o escolhido. Em particular a pressão mínima deve garantir que não existam fenómenos de cavitação. O valor máximo do NPSH é definido segundo os fabricantes das bombas. Em qualquer caso deve-se tomar uma margem de segurança de 20 KPa para temperaturas até 90°C e 50 KPa para temperaturas superiores. Quanto maior for este valor maior será o vaso de expansão.

A pressão máxima de funcionamento será ligeiramente menor que a pressão da válvula de segurança, esta deve ser inferior a pressão máxima de trabalho dos componentes do sistema. Naturalmente a pressão mínima e máxima devem ser corrigidas de acordo com a altura geométrica da colocação do vaso de expansão.

Na Figura 34 é exposta um esquema dos volumes calculados anteriormente para o vaso de expansão.

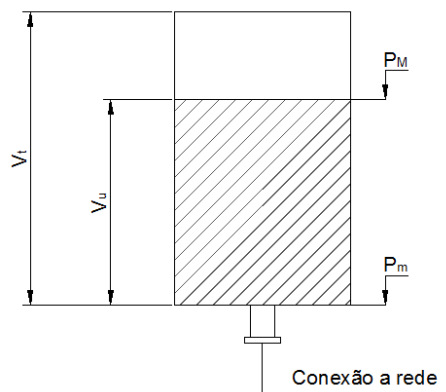


Figura 34 – Vaso de expansão fechado [28]

3.9. FLUIDO TÉRMICO

Utiliza-se como fluido térmico água desmineralizada ou uma mistura de água desmineralizada com anticongelante. É a solução mais usada para proteger os coletores do perigo de congelamento. Também existe a possibilidade de utilizar água mineralizada, contudo é necessário controlar os valores da mineralização. Devem ser tidas em consideração as propriedades da água e do líquido anticongelante. A sua percentagem mínima depende da temperatura mínima registada na zona (Quadro 16):

Quadro 16 – Dados técnicos [19]

% Concentração de Glicol	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%
Temp. Congelação	-10	-13	-18	-21	-25	-32	-42	-50
Temp. Ebulição 2 atm	127	128	129	130	131	132	132	133
Temp. Ebulição 6 atm	175	176	177	178	179	181	181	182

A temperatura de ebulição está dependente da pressão do sistema e do aumento da concentração de glicol. O pH a 20°C estará compreendido entre 5 e 9, um pH inferior significa que o fluido térmico perdeu as suas propriedades anticongelantes. Esta é afetada pela elevação da temperatura do fluido, para valores fora do normal funcionamento do sistema (temperatura de estagnação). O calor específico é definido como a energia necessária para elevar em um grau a temperatura de uma massa unitária de uma substância. O calor específico da água mantém-se aproximadamente constante com o aumento da temperatura, variando menos de 1% entre 0°C e 100°C (Quadro 17).

Quadro 17 - Propriedades da água e Etileno glicol [29]

Substancia	Propriedades líquidas			
	Temperatura (°C)	Densidade ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p (KJ/Kg · K)	Calor específico c_p (Wh/Kg · K)
Água	0	1000	4,22	1,172
	25	997	4,18	1,161
	50	988	4,18	1,161
	75	975	4,19	1,164
	100	985	4,22	1,172
Etileno glicol	20	1109	2.84	0.789

A energia necessária para elevar a temperatura de uma massa unitária em um grau é menor para o etileno glicol. O calor específico depende da temperatura e da percentagem de anticongelante da mistura.

Como já se constatou a mistura com anticongelante provoca uma diminuição do calor específico do fluido. Com um menor calor específico podemos aumentar o caudal, aumentando a transferência de calor. A partir de certo valor o aumento do caudal traduz-se num ganho térmico baixo. O valor aconselhado depende do coletor e das características do fluido. O caudal pode ser determinado pela seguinte expressão [9]:

$$\dot{m} = \frac{10 \cdot F' \cdot U_L}{C_{P(Glicol/H_2O)}} \quad (30)$$

Com:

\dot{m} - Caudal volumétrico (Kg/(s · m²))

$F' \cdot U_L$ - Coeficiente global de perdas

$C_{P(Glicol/H_2O)}$ - Calor específico do líquido solar (J/(Kg · °C))

O caudal no coletor solar deve ser otimizado. Uma taxa de fluido elevada através de coletor no Inverno não gera temperaturas de alimentação utilizáveis. Com a regulação de um caudal para um valor mínimo é possível atingir a temperatura desejada.

Existe uma relação entre o caudal e a elevação da temperatura no coletor. Essa relação pode ser calculada de uma forma aproxima pela seguinte expressão:

$$T_m = T_e + 0,1123 \cdot \dot{m}^{0,403} \cdot \eta \cdot I_g \quad (31)$$

Outra alternativa em função da irradiação incidente para o cálculo do caudal ótimo assumindo-se uma restrição na diferença de temperatura de 10°C. O fluxo volumétrico pode ser calculado por:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_{P(Glicol/H_2O)} \cdot \Delta T} \quad (32)$$

Com;

\dot{m} - Caudal volumétrico (Kg/m^2h)

Q - Output térmico utilizável (W/m^2)

$C_P (Glicol/H_2O)$ - Calor específico do líquido solar ($Wh/Kg \cdot ^\circ C$)

ΔT - Diferença entre o fluxo de alimentação e retorno ($^\circ C$)

Os fabricantes costumam recomendar um caudal nominal por metro quadrado, deve-se utilizar esse valor.

3.10. BOMBA DE CIRCULAÇÃO

A utilização da bomba de circulação é referente à utilização de um circuito de circulação forçada. Para o dimensionamento é necessário conhecer as perdas de carga totais do sistema. As perdas totais são o somatório das perdas de pressão no coletor, no circuito solar e no permutador de calor.

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{col} + \Delta p_{circ} + \Delta p_{permutador} \quad (33)$$

com:

Δp_{col} - Depende do tipo de coletor, do caudal selecionado e do tipo de ligação. Ligação em paralelo a pressão do campo de coletores corresponde a pressão de um único coletor. Ligações em série a perda de pressão são somatórias de todas;

Δp_{circ} - É originada pelas perdas de pressão nos tubos e pela soma das perdas pressão nas ligações;

$\Delta p_{permutador}$ - Perda originada pelo permutador de calor;

A bomba de circulação deve ser selecionada segundo a sua curva característica definida pelo caudal de circulação e a altura manométrica. As bombas com regulação de velocidade permitem variar o caudal de circulação. A utilização destas bombas permite otimizar o funcionamento da instalação solar. Como valores de referência a potência da bomba elétrica não deve ultrapassar os seguintes valores (Quadro 18) [14]:

Quadro 18 - Valores de referência [14]

Sistema	
Sistema Pequeno	50 W ou 2% da maior potência calorífica dos coletores
Sistema Grande	1% da maior potência calorífica dos coletores

O caudal do fluido térmico estará geralmente compreendido entre 43,2 Kg/h e 72 Kg/h. O cálculo das perdas de carga nas tubagens deve ter em consideração a mistura de água/glicol. Para diferentes velocidades de funcionamento a perda de pressão pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$\frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{P_1}{P_2} \quad (34)$$

As perdas de carga no coletor e no permutador devem ser obtidas por intermédio do fabricante. Sempre que possível, as bombas devem ser montadas na parte mais fria do circuito tendo em conta que se produz nenhuma tipo de cavitação e sempre com o eixo na posição horizontal. A potência é calculada segunda a seguinte expressão:

$$P_{Bomba} = C \cdot \Delta p \quad (35)$$

Com:

P_{Bomba} – Potência elétrica (KW)

C – Caudal (m^3/s)

Δp – Perda total de pressão da instalação (KPa)

Na seleção da bomba o seu ponto de trabalho não deve ser o mínimo ou máximo. Neste caso é conveniente escolher uma bomba que trabalhe com velocidade intermédia e não nos extremas, pois desta forma existe maior possibilidade de manobra. As bombas utilizadas nos sistemas solares são do tipo centrífugo, eixo molhado, silenciosas e de baixa manutenção. Para a seleção da bomba é necessário conhecer as perdas de carga e o caudal de impulsão, com estes dois valores determina-se o ponto característico de funcionamento da instalação.

3.11. TUBAGENS

O circuito é dimensionado para uma velocidade do fluido térmico não superior a 1.5 m/s. Contudo é recomendado uma velocidade inferior a 1 m/s, sendo as perdas de carga limitadas a 40 mm.c.a (40 Pa) por metro linear de tubagem. O desenho do sistema de circulação deve seguir as seguintes regras práticas [30]:

- A conexão entre coletores e filas realiza-se de maneira a que o circuito seja equilibrado hidráulicamente, mediante retorno invertido;
- As tubagens devem ser as mais curtas possíveis com o objetivo de minimizar perdas térmicas;
- Os tramos horizontais devem ter uma pendente mínima de 1% no sentido do escoamento (tubagem de Retorno), a tubagem de impulsão deve ter uma pendente contrária;
- O isolamento não deve deixar áreas visíveis dos tubos e acessórios, deixando apenas os elementos necessários para o bom funcionamento e operação dos componentes.

3.11.1. ESPESSURA DO ISOLAMENTO

Os componentes da instalação devem ser isolados para minimizar perdas térmicas. A espessura é determinada segundo dois fatores: a temperatura do fluido e a sua localização (interior ou exterior). As espessuras são referente a uma condutibilidade térmica de referência 0,04 W/(m·K) a 20°C. Para isolamentos com condutibilidade térmica diferentes a espessura do isolamento deve ser ajustada pela seguinte expressão [5, 31]:

$$\frac{\ln \frac{D_i + 2 \cdot e}{D_i}}{\lambda} = \frac{\ln \frac{D_i + 2 \cdot e_{ref}}{D_i}}{\lambda_{ref}} \quad (36)$$

De onde se obtém:

$$e = \frac{D_i}{2} \left[\exp \left(\frac{\lambda}{\lambda_{ref}} \ln \frac{D_i + 2 \cdot e_{ref}}{D_i} \right) \right] \quad (37)$$

Com:

λ - Condutibilidade térmica (W/(m·K)).

λ_{ref} - Condutibilidade térmica de referência (W/(m·K)).

D_i - Diâmetro interior.

e_{ref} - Espessura de referência do isolamento.

e - Espessura do isolamento.

A espessura mínima em mm é indicada no Quadro 19, para tubagens exterior a sua espessura deve ser aumentada em pelo menos 10 mm.

Quadro 19 - Espessura mínima de isolamento (interior) [32]

Diâmetro Externo (mm)	Temperatura do fluido °C			
	40 a 65	66 a 100	101 a 150	151 a 200
$D \leq 35$	20	20	30	40
$35 < D \leq 60$	20	30	40	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40	50
$90 < D \leq 140$	30	40	50	50
$140 < D$	30	40	50	60

Para temperaturas de funcionamento de 60 °C a espessura do isolamento deve ser no mínimo de 30 mm. Este deve aderir perfeitamente ao tubo, evitando a formação espaços vazios entre o isolamento e o tubo, mas sem diminuir a espessura do isolamento. Todos os acessórios devem ter o mesmo nível de isolamento, devendo ser prevista a possibilidade de a mesma ser retirado para manutenção sem ser danificado, principalmente nas uniões.

3.11.2. RECOMENDAÇÃO CIRCULAÇÃO NATURAL

É importante que, nos circuitos de circulação natural, os diversos componentes sejam projetados para minimizar as perdas de carga. Estas são um fator a ter em consideração no circuito, sendo preponderante para o seu correto funcionamento. Recomenda-se que o sistema siga as seguintes recomendações.

- O esquema das tubagens deve ser o mais curto possível, sendo a colocação do depósito de acumulação o mais próxima possível dos coletores. Em qualquer caso, o diâmetro da tubagem não deverá ser inferior a 15 mm. Em geral, este diâmetro é calculado para corresponder ao diâmetro imediatamente acima da instalação equivalente padrão exigido com circulação forçada;
- Os depósitos de acumulação devem estar localizados acima dos coletores promovendo a circulação natural. No caso em que existe uma sobreposição abaixo dos coletores é importante usar algum tipo de dispositivo sem introduzir perdas de carga adicionais significativas, evitando a inversão do fluxo.

3.12. IMPOSIÇÕES DA LEGISLAÇÃO

Desde que a exposição solar seja adequada é obrigatório o recurso a sistemas solares térmicos para produção de água quente sanitária, na base de um coletor padrão por ocupante convencional previsto. Podendo esse valor ser reduzido de forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível.

3.12.1. ÁREA MÍNIMA COLETORES

Não antiga legislação era imposta 1 m² de coletor por ocupante, mas desde que o projetista demonstrasse que a solução alternativa proposta capte, numa base anual, a energia equivalente a um sistema solar térmico idêntico era possível adotar outras soluções. O coletor tinha as seguintes características:

- Rendimento ótico: 69%;
- Coeficiente de perdas térmicas $a_1=7,5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ e $a_2=0,014 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^2)$;
- Modificador de ângulo para incidência de 50°: 0.87;
- Área de abertura: 1,0 m².

Em coordenação com a APISOLAR (Associação Portuguesa da Indústria Solar), INETI (Instituto Nacional de engenharia, Tecnologia e Inovação) e as entidades supervisoras do SCE está era a metodologia para a aceitação de outras soluções. Já existia um consenso que 1 m² por ocupante era um parâmetro desmedido e não conduzia a soluções atrativas, visto que os painéis solares tinham sofrido um desenvolvimento nos últimos anos.

Com a nova legislação os sistemas solares térmicos a instalar devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada por um sistema idêntico ao previsto ou instalado, baseado num coletor solar padrão com as seguintes características:

- Orientação a sul e com inclinação de 35°;
- Apresentação dos seguintes parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
 - Planos com área de abertura de 0.65 m² por ocupante convencional;
 - Rendimento ótico de 73%;
 - Coeficiente de perdas térmicas $a_1=4,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e $a_2=0,014 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$;
 - Modificados de ângulo para incidência de 50° a 0,91.

Para se demonstra o referido no parágrafo anterior pode-se utilizar a metodologia descrita de seguida, apresentando todas as evidências da sua aplicação [33]:

- 1) Efetuar simulação para a solução base através do programa Solterm com coletor padrão;
- 2) Efetuar simulação para a solução alternativa através do Solterm com coletor solar proposto e a área definida pelo utilizador, bem como com todos os restantes parâmetros iguais aos utilizados na simulação anterior;
- 3) Comparar as energias fornecidas (Esolar) por ambos os sistemas solares (solução base com coletor padrão e solução alternativa com coletor proposto);
- 4) Caso o Esolar da solução alternativa seja igual ou superior ao Esolar da solução base, essa solução alternativa poderá ser considerada.

3.12.2. EXPOSIÇÃO SOLAR ADEQUADA

Considera-se que existe exposição solar adequada sempre que a cobertura, em terraço ou inclinada no quadrante Sul, não seja sombreada por obstáculos significativos entre o período que compreende duas horas depois do nascer do sol e duas horas antes do ocaso. Quando se pretende averiguar se um elemento é um obstáculo significativo uma boa prática é seguir a seguinte metodologia [33]:

- 1) Calcular o Esolar (sem obstrução) com o SolTerm, utilizando como ângulo de obstáculo 20° para todo o horizonte (situação correspondente a exposição solar total no período entre 2 horas após o nascer do sol e 2 horas antes do por do sol) e sem introduzir qualquer obstrução;
- 2) Mantendo o ângulo de 20°, introduzir a situação de obstrução do caso em estudo (apenas aqueles obstáculos que façam um ângulo de obstrução superior a 20°, naturalmente) e determinar o novo Esolar (com obstrução);

- 3) Se a razão entre o Esolar (com obstrução) e o Esolar (sem obstrução) for inferior a 0,7 pode-se considerar que o obstáculo é significativo.

4

CASO DE ESTUDO

4.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Na descrição de um projeto deve identificar-se o edifício e o tipo de intervenção que será realizada. Pode incluir a atividade, ocupação, conforto requerido, tipo de energia e eficiência de equipamentos já existentes. Devem ser descritas as alternativas que serão analisadas bem como a legislação e restrições aplicáveis.

O caso de estudo é uma moradia unifamiliar (Figura 35), com localização no Porto. Este edifício tem o projeto aprovado à data de 1938, tendo sofrido remodelações recentemente. Terá sido previsto, uma pré-instalação para futuras intervenções ao nível do aproveitamento da energia solar.



Figura 35 – Edifício do Caso de estudo.

É importante conhecer o sistema construtivo do edifício, principalmente na cobertura (Figura 36) onde se irão colocar os coletores solares térmicos.

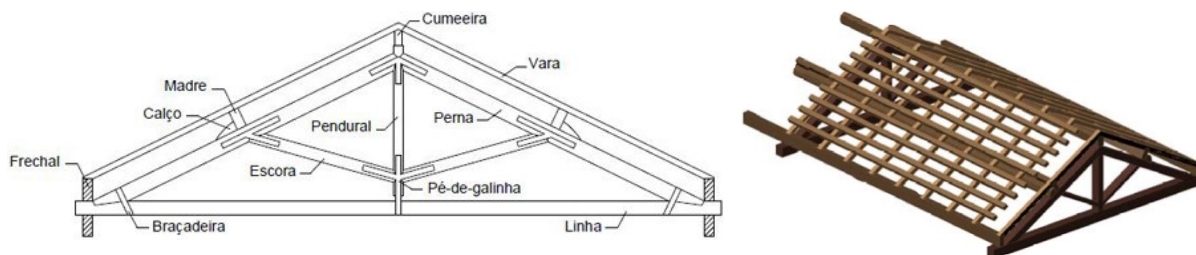


Figura 36 - Componentes da cobertura.

A típica cobertura de madeira portuguesa apresenta asnas como principal elemento estrutural, com uma pendente variável entre 20° e os 30°. Sendo materializadas por telhas cerâmicas apoiadas sobre varas espaçadas de 40-50 cm, que repousam por sua vez sobre a cumeeira, as madres e o frechal. Normalmente as coberturas de madeira são constituídas por asnas simples de vãos médios entre 6 a 7 metros. O edifício é da tipologia T4, tendo uma ocupação de referência de 5 ocupantes. Não se vai considerar a existência de algum sistema de aquecimento auxiliar.

Antes de identificar alternativas é útil considerar todas as restrições que podem excluir alternativas que serão analisadas no custo de ciclo de vida no capítulo 5. Será preciso antes de passar ao seu dimensionamento fazer uma avaliação económica mesmo que seja aproximada. Sendo a rentabilidade económica uma condicionante será também importante identificar o constrangimento antes de começar a análise. Permitindo poupar esforços e tempo na análise de alternativas que não são praticáveis. De entre as restrições podemos encontrar às seguintes:

- Segurança funcional;
- Limitações físicas;
- Fraca exposição solar;
- Tipos de energia disponível;
- Restrições estéticas;
- Ordem económica;
- Ordem política e cultural.

No presente caso de estudo podemos encontrar problemas de ordem física na consideração de um sistema de circulação por termossifão. Carecia de uma avaliação mais detalhada, como tal para o presente trabalho será considerado que a estrutura da cobertura apresenta características para suportar as cargas adicionais.

De entre os sistemas solares térmicos temos diversas variante, no caso de uma habitação unifamiliar será estudado o sistema de circulação forçada com painéis planos e o sistema de termossifão. Sendo desenvolvido como caso de estudo o sistema de circulação forçada.

4.2. CYPE – INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICA

O módulo projeto solar térmico do programa Cype - instalações de edificios foi concebido para realizar um projeto de uma instalação solar térmica, de utilização individual ou coletiva para produção de água quente sanitária. Como exemplo será exemplificada a introdução dos dados do caso de estudo. Posteriormente os resultados obtidos em termos energéticos serão comparados com o Solterm.

4.2.1. CRIAÇÃO DA OBRA

Processo a seguir para a criação da obra:

- No menu Arquivo → Novo...

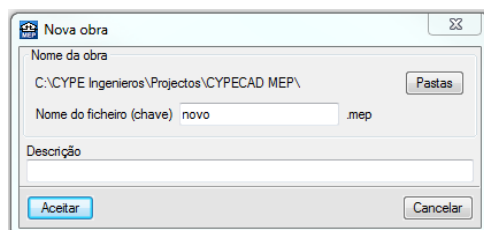


Figura 37 – Nova Obra.

Será definido o nome do ficheiro e uma descrição da obra (Figura 37). Prima aceitar.

- Será pedida a localização da obra. Por defeito aparecerá Portugal, para cada país são indicadas a especialidades disponíveis. Para o presente trabalho será utilizada a solar térmica.
- Aparecerá de seguida uma janela onde é possível importar os dados da geometria da obra de um modelo CAD/BIM. Foi selecionada a opção Obra vazia (Figura 38).

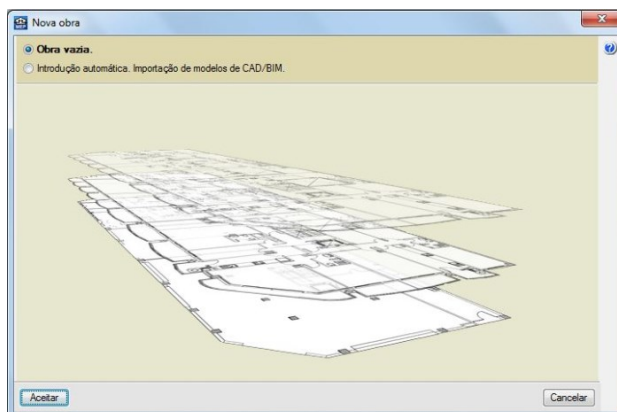


Figura 38 – Obra vazia.

Os próximos passos serão referentes aos dados gerais da obra;

- Tipo de Edifício, de entre os diversos tipos são disponibilizadas diversas soluções para os sistemas solares térmicos, neste caso será uma habitação unifamiliar (Figura 39).



Figura 39 – Edifício Unifamiliar

- Tipo de projeto, para o caso será selecionado Solar térmico (Figura 40).



Figura 40 -Seleção Projeto

O projeto de instalações de sistemas de captação solar térmica inclui memória justificativa de cálculos, condições técnicas, desenhos, esquemas, medição e orçamentos.

- Dados de projeto (Figura 41).

Figura 41 – Dados do Projeto

Aqui seriam introduzidos todos os dados sobre o edifício, entidade requerente, projetista, entidade projetista e perito qualificado. Não será introduzido nenhum dado, sendo irrelevante para o caso de estudo. Todas as mensagens que aparecerem devem ser aceites para se continuar a introdução de dados.

- Localização (Figura 42).

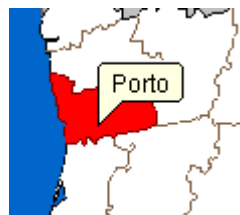


Figura 42 - Localização

A localização da obra é feita por Distrito numa primeira fase e depois por Concelho.

- Configuração de Preços (Figura 43):

Figura 43 – Gerador de preços

O cenário de mercado tem uma influência significativa na orçamentação. Foi escolhido o cenário de recessão moderada. Os restantes parâmetros não têm significado nos sistemas solares térmicos.

- Unidades de Utilização

As unidades de utilização (Figura 44) são utilizadas para calcular o número de ocupantes da habitação. Esse cálculo no CYPE MEP é feito segundo o Quadro 20.

Quadro 20 – nº de pessoas por habitação

Número de Camas	1	2	3	4	5	6	7	>7
Número de pessoas	1,5	3	4	6	7	8	9	Nº de camas

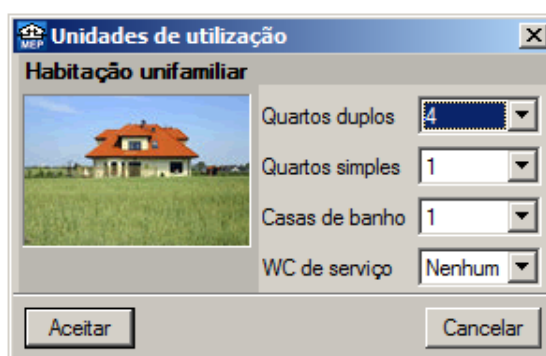


Figura 44 – Unidades de utilização

O consumo considerado por ocupante é de 30 l/pessoa. Para o cálculo ser o mais próximo da legislação portuguesa vão ser considerados 7 ocupantes para compensar o défice de 10 l/pessoa. Perfazendo um total de 210 litros.

- Planos de Grupos (Figura 45).

Atendendo às plantas do edifício foi determinada uma altura média do pé direito para cada piso. Existe um desvão na cobertura.

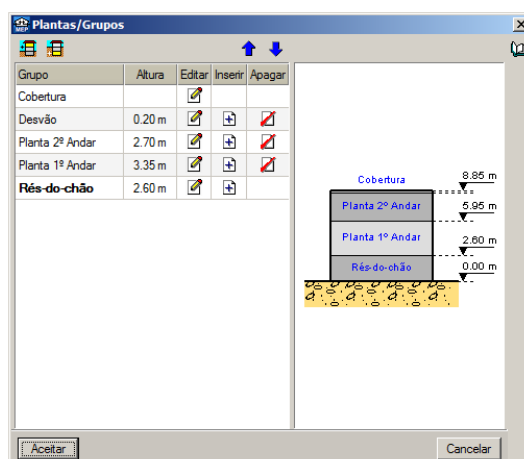


Figura 45 – Planos/Grupos

Um Grupo é entendido como um conjunto de uma ou várias plantas consecutivas e iguais. A introdução dos dados é única para todas as plantas do grupo. As alturas são sempre referentes ao piso anterior.

- Dados da obra (Cobertura solar, Energia de apoio, Temperatura de acumulação)

Nos dados da obra (Figura 46) será definido o objetivo da cobertura solar a ser atingido. Mediante este valor o programa em fase de cálculo dará indicações sobre se o objetivo foi alcançado ou conduz a um sobredimensionamento do sistema. Uma boa solução de partida será um cobertura solar de 70% (fração solar).

Figura 46 – Dados Obra

A temperatura de acumulação é recomendada pelo programa como sendo de 60°C e nos sistemas de acumulação individual onde o espaço seja especialmente reduzido. Nos restantes sistemas individuais deve ser reduzida para 45°C. Na realidade, a diminuição da temperatura traduz-se num aumento da eficiência do sistema e a um aumento do volume de armazenamento. Mas devido à legionella a temperatura recomendada no reservatório deve ser pelo menos de 60°C.

- Condições Climáticas (Figura 47).

Neste menu é possível alterar as condições climáticas, introduzindo novos valores para temperatura ambiente, humidade relativa e irradiação solar.

Figura 47 – Condições Climáticas

Os valores adotados serão os propostos pelo programa.

4.2.2. INTRODUÇÃO DAS PLANTAS DO CASO DE ESTUDO

Depois de introduzir os dados é possível agora introduzir as máscaras de desenho para cada planta (Figura 48). É mais cómodo utilizar vários ficheiros de DXF ou DWG que sirvam de máscara para desenhar o sistema solar. Neste caso será necessário ter previamente cada planta num único ficheiro de preferência à escala 1:100.

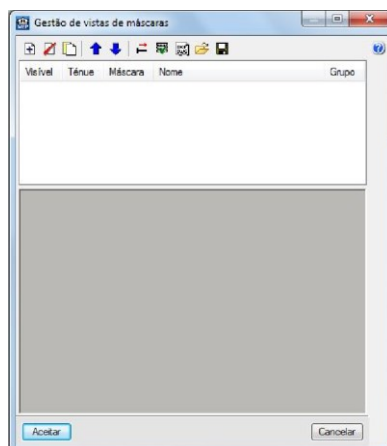


Figura 48 – Gestão de máscaras

- Primeiro será adicionado um novo elemento a lista (Figura 49).

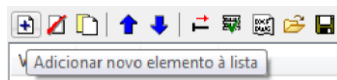


Figura 49 – Adicionar novo elemento

- Na janela ficheiros disponíveis vamos adicionar as respectivas plantas em DXF (Figura 50).

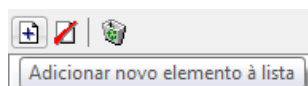


Figura 50 - Adicionar DXF

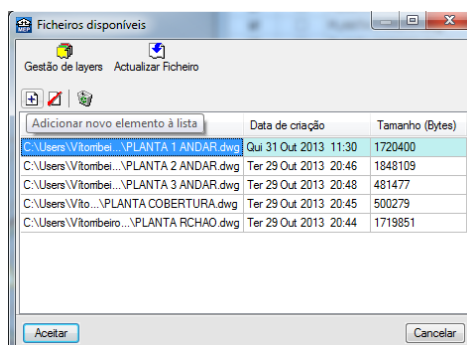


Figura 51 – Ficheiros disponíveis

Depois de adicionadas as plantas, será agora possível escolher os layer presentes no ficheiro DXF (Figura 52).

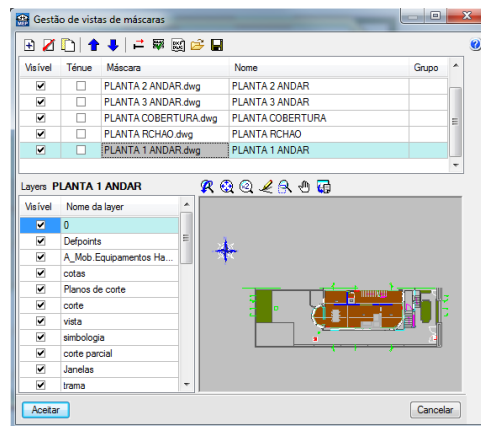


Figura 52 – Seleção dos layer

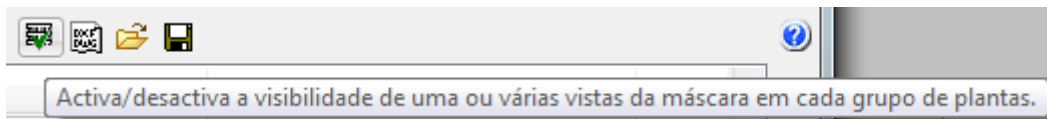


Figura 53 – Ativar visibilidade de máscaras em cada grupo

- Em planos dos grupos será associar os grupos as plantas (Figura 54).

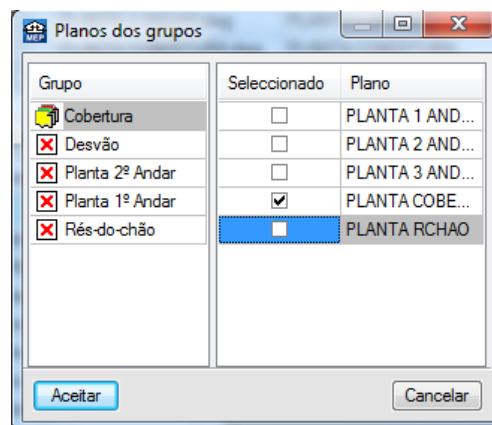


Figura 54 – Associação das plantas aos grupos

Por exemplo, o Grupo Cobertura será associado à Planta Cobertura. Feita a associação dos respetivos grupos com as plantas poderá ser ainda necessário ajustar as plantas à origem do referencial do CYPE MEP. Este passo é importante para que as plantas dos diversos pisos estejam sobrepostas. Estando introduzidos todos os dados da obra e respetiva planta será agora definida a orientação do edifício.

No menu **Obra** → **Orientação** (Figura 55).

A orientação não é perguntada durante o processo de introdução de dados. A mesma deve ser introduzida segundo a respetiva orientação do edifício.

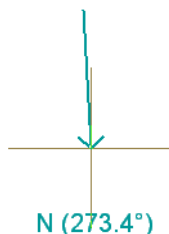


Figura 55 – Definição da orientação

4.2.3. SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A definição dos equipamentos e materiais dos tubos de circulação são definidos no menu obra → Seleção de materiais e equipamentos.

No que respeita aos coletores podem ser definidos os seguintes aspetos:

- A sua integração no Edifício (Figura 56).

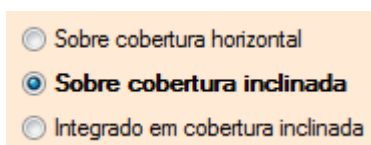


Figura 56 – Integração no edifício

- O sistema pretendido (Figura 57).



Figura 57 – Sistema circulação

- A casa Comercial (Figura 58).



Figura 58 – Escolha casa Comercial

- Seleção do número de coletores e do reservatório (Figura 59).

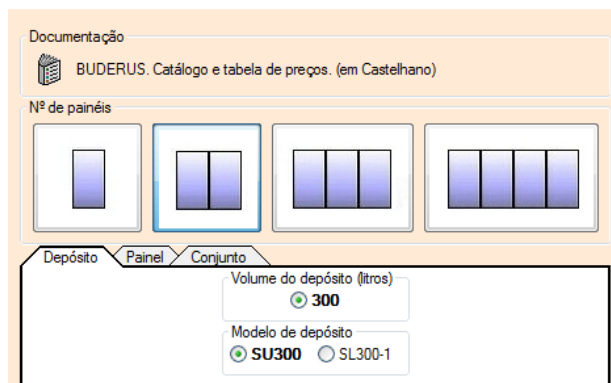


Figura 59 – Escolha do Coletor e depósito de armazenamento

A escolha de alguns parâmetros condiciona a escolha de outros. O programa direciona o utilizador para as soluções mais utilizadas e possivelmente mais corretas.

4.2.4. INTRODUÇÃO DOS COMPONENTES DA INSTALAÇÃO

No menu Instalação → equipamentos é possível seleccionar os equipamentos para introdução (Figura 60). Será necessário definir a localização e orientação do coletor solar. No caso de estar sobre uma cobertura inclinada ou integrada nela a inclinação do coletor é automaticamente ajustada a inclinação da cobertura.

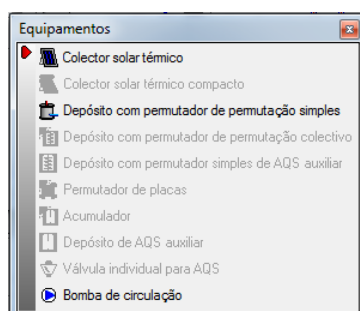


Figura 60 - Equipamentos

Ao introduzir os coletores existem quatro ligações na extremidade do mesmo (Figura 61). São as entradas e saídas do mesmo. O retorno é o fluido frio que volta do permutador, a impulsão é o fluido quente que vai para o permutador.

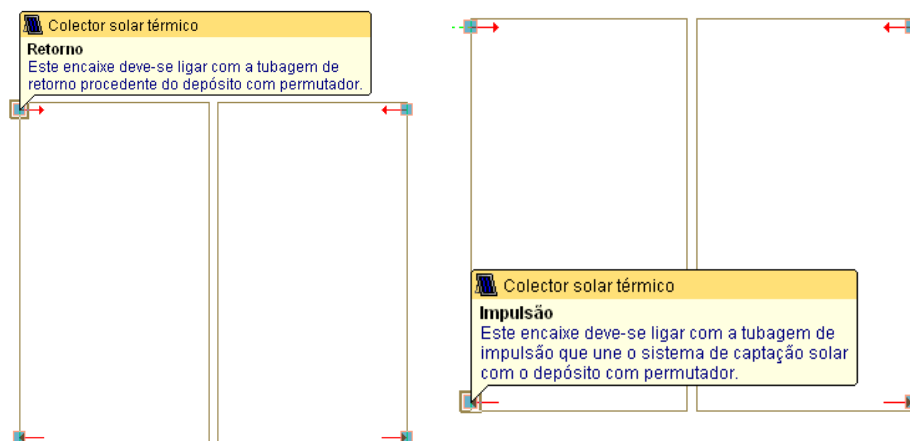


Figura 61 – Coletor Solar térmico

Os depósitos de acumulação são representados pela seguinte simbologia. Temos três saídas, uma de água quente, a de retorno para os coletores e a de impulsão (Figura 62).

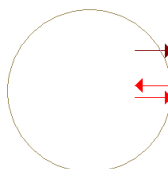


Figura 62 – Esquema depósito armazenamento

Estando introduzidos os coletores e o volume de armazenamento nos seus respetivos lugares pode-se proceder à ligação dos mesmos (Figura 63).

No menu Instalação →  Nova

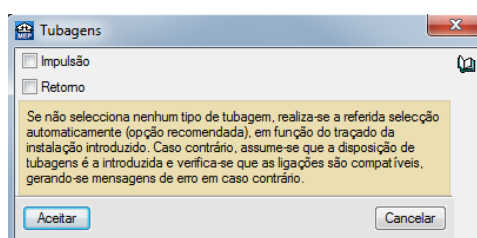


Figura 63 – Tubagens de Impulso Retorno

Pode-se definir as tubagens como sendo de impulsão e retorno. Caso não se selecione nenhuma opção o programa automaticamente identifica as mesmas.

Na introdução das ligações ao colector foi tido em consideração que a entrada do retorno e a saída da impulsão devem ser situadas em posições opostas (circulação invertida, Figura 64).

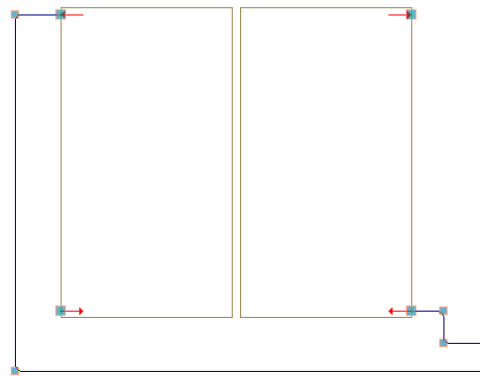


Figura 64 – Esquema de ligação

No menu Instalação → **I** Nova

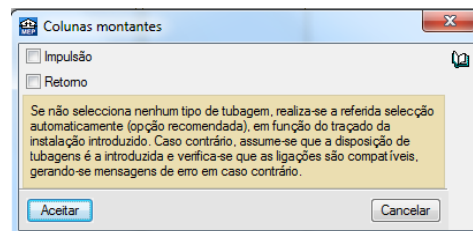


Figura 65 – Colunas montantes

As colunas montantes estão representadas na Figura 65. Não é preciso definir o início e o fim da mesma. Quando não existe nenhuma tubagem associada a mesma aparece uma mensagem de erro. Desenhado o circuito de circulação o próximo passo é definir a localização da bomba de circulação.

No menu **instalação** → **Equipamentos** → **Bomba de Circulação** (Figura 66).

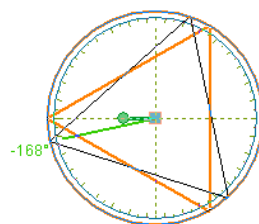


Figura 66 - Esquema bomba de circulação

A bomba de circulação foi introduzida na tubagem de retorno do permutador onde a temperatura é menor. O programa não é sensível a esta boa prática, não apresentando nenhuma recomendação sobre a localização da bomba na tubagem de retorno. É possível orientar a bomba para definir o sentido do fluxo. Na realidade uma incorreta orientação da bomba não conduz a algum erro.

4.2.5. RESULTADOS

No menu Resultados → Calcular

O processo de cálculo é iniciado, caso exista algum erro o processo de cálculo é interrompido. O erro pode ser da instalação solar ou da geometria da obra. Em qualquer caso o erro tem que ser resolvido para o processo de cálculo ser concluído. Passando o rato sobre a bomba é possível ver o caudal e a perda de carga do sistema (Figura 67).

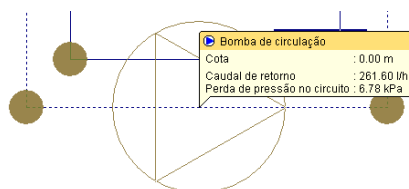


Figura 67 – Visualização dos resultados da bomba

Nas tubagens é possível ver o comprimento do tramo, o diâmetro, caudal, perda de carga e o fluxo de calor linear (Figura 68).

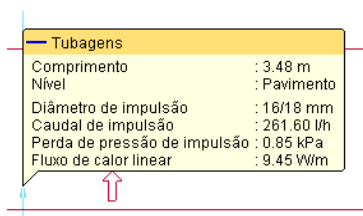


Figura 68 – Resultados tubagem

Clicando sobre o coletor é possível ver as perdas esperadas por sombreamento, neste caso foram de 0.01% (Figura 69).

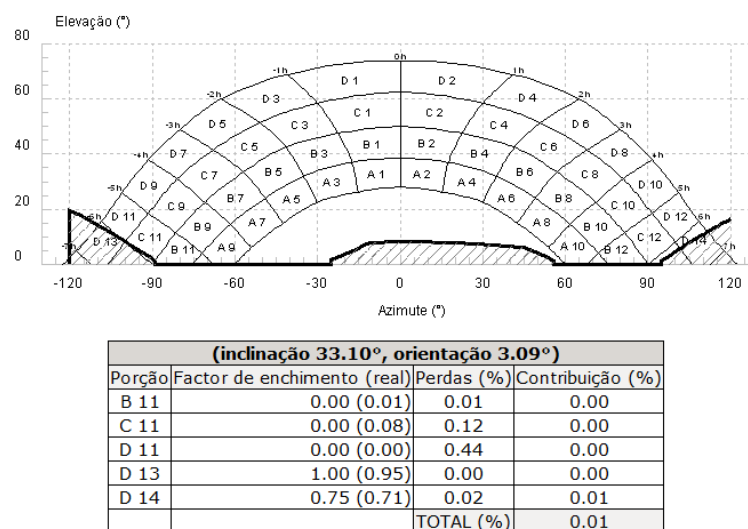


Figura 69 – Cálculo de perdas de radiação solar por sombras

Ainda permite obter diversos tipos de documentos como:

- Cálculo da Instalação;
- Descrição de materiais e elementos construtivos;
- Quadro de materiais;
- Medições e orçamentos;
- Desenhos.

Em cálculo da instalação é demonstrada a metodologia de cálculo dos respetivos componentes do sistema. Uma potencialidade do programa é a visualização em 3D do sistema, no caso de estudo foi feita uma modelação em 3D do edifício do caso de estudo e do edifício germinado. Com o intuito de averiguar possíveis sombras da cobertura do edifício germinado. Na Figura 70 são expostos o sistema de circulação forçada e termossifão.

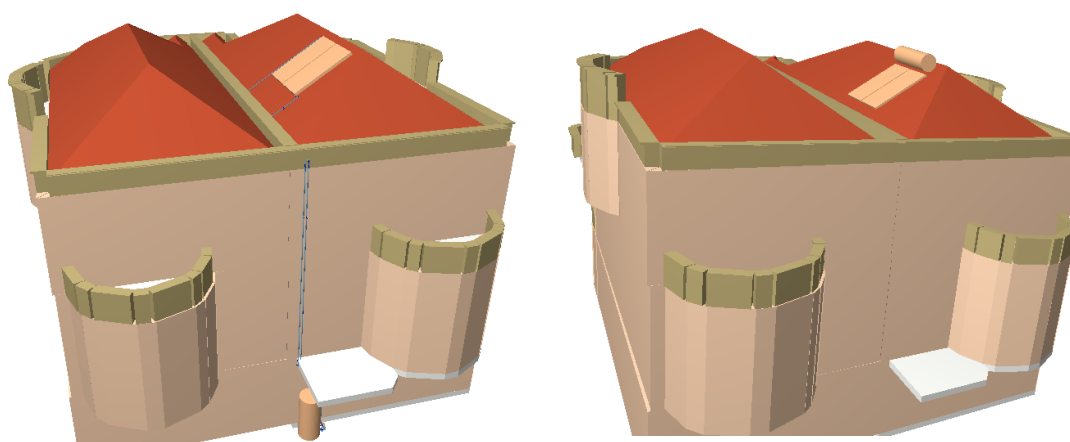


Figura 70 – Representação 3D das soluções

4.3. (PRÉ)DIMENSIONAMENTO

4.3.1. DADOS DE PARTIDA

Os dados de partida serviram com suporte ao dimensionamento de toda a instalação. Os dados de partida são relevantes para um correto dimensionamento face à realidade de utilização do sistema. Estes são dependentes da tipologia da habitação, localização e restrições. Tendo em conta o nível de ocupação, foi considerado um consumo médio diário de 40 l/pessoa a uma temperatura de 60 °C (Quadro 21).

Quadro 21 - Condições de Utilização

Tipologia	T4
Nº de Ocupantes	5 (6 segundo CYPE)
Consumo médio Diário	40 l/pessoa (30 l/pessoa segundo cype)
Consumo total	200 l (180 l segundo o cype)

O pré-dimensionamento vai ser realizado com os 200 litros. Na análise energética foram utilizados os dados climáticos descritos no Quadro 22 referentes à localização do caso de estudo.

Quadro 22 – Condições Climáticas

	Irradiação Solar Diária Horizontal (KWh/m ²)			Temperatura Ambiente (°C)			Água Reposição (°C)
	Global	Difusa	Direta	Mínima	Máxima	Média	Média
Janeiro	1,7	0.9	0.8	5.5	13.4	8.8	15
Fevereiro	2.5	1.2	1.3	6.0	14.2	9.3	15
Março	3.4	1.6	1.8	7.2	15.9	11.0	15
Abril	4.8	2.0	2.8	8.3	17.9	12.6	15
Maio	5.6	2.4	3.2	10.7	20.5	15.1	15
Junho	6.2	2.5	3.7	13.2	23.5	17.9	15
Julho	6.6	2.4	4.2	14.7	26.0	19.8	15
Agosto	5.9	2.2	3.7	14.4	26.3	19.6	15
Setembro	4.3	1.8	2.5	13.7	24.8	18.4	15
Outubro	3.1	1.3	1.7	11.4	21.4	15.5	15
Novembro	2.0	0.9	1.1	7.6	16.5	11.3	15
Dezembro	1.6	0.8	0.8	5.8	13.5	9.0	15

Segundo a regulamentação existe uma cobertura solar mínima que deve ser cumprida. A determinação dessa cobertura solar mínima passa pela utilização de um coletor padrão com as seguintes características:

- Orientação a sul e com inclinação de 35°
- Apresentação dos seguintes parâmetros geométricos, óticos e térmicos:
 - Planos com área de abertura de 0.65 m² por ocupante convencional
 - Rendimento ótico de 73%
 - Coeficiente de perdas térmicas $a_1=4,12 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ e $a_2=0,014 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^2)$
 - Modificados de ângulo para incidência de 50° a 0,91

Para se determinar a contribuição solar mínima é preciso conhecer o sistema solar térmico a ser implantado, nomeadamente o volume de armazenamento, comprimento das tubagens, etc. Tendo em consideração os dados de partida já apresentados serão tomadas as seguintes considerações:

- Depósito de acumulação com capacidade de 300 l e perdas térmicas de 2 W/K.
- Comprimento do Circuito Solar de 32 m com isolamento de 30 mm e proteção de chapa de alumínio.
- Um consumo diário de 200 l com um consumo variando entre a manhã e noite.
- Os restantes parâmetros serão desprezados pelo pouco significado que têm na análise.

Utilizando o Solterm 5.0 com os dados exposto sintetiza-se os resultados no Quadro 23:

Quadro 23-Cobertura solar mínima

Área abertura (m ²)	Energia (KWh)		Fração solar (%)	Rendimento Global (%)	Produtividade (KWh/m ² coletor)
3,25	Fornecida	2202	57,6	41	667
	Carga	3820			
	Apoio	1618			

Comparando com a metodologia que já se tinha vindo a aplicar temos o Quadro 24:

Quadro 24-Cobertura solar mínima (base de 1 m²/ocupante)

Área abertu- ra (m ²)	Energia (KWh)	Fração solar (%)	Rendimento Global (%)	Produtividade (KWh/m ² coletor)
5	Fornecida	2165	26	433
	Carga	3820		
	Apoio	1654		

Com valor a atingir temos $Q_a = 2202$ KWh que se denominava por E_{solar} na antiga legislação.

4.3.2. PRINCÍPIO DO ESQUEMA DA INSTALAÇÃO

O sistema de captação solar para consumo de AQS caracteriza-se da seguinte forma:

- Pelo princípio de circulação utilizado, classificamos o sistema como uma instalação com circulação forçada ou por termossifão;
- Pelo sistema de transferência de calor, classificamos o nosso sistema como uma instalação com permutador de calor interno ou externo. Pelo sistema de expansão, será um sistema fechado ou aberto;
- Pela sua aplicação, será uma instalação para aquecimento AQS e climatização.

O princípio de funcionamento conduz a diferentes soluções de projeto. Sendo uma instalação meramente para aquecimento de AQS podemos descartar logo à partida a climatização. A instalação é de pequena dimensão justificando a utilização de um permutador interno, incorporado no depósito de acumulação. Não existindo restrições estruturais existe a possibilidade de utilizar um sistema de circulação forçada ou por termossifão. A solução adotada deve satisfazer as necessidades mínima de aquecimento definido pelo coletor padrão. No entanto podemos encontrar limitações económicas relativamente a elevados custos de investimento e manutenção, tornando a solução inviável economicamente. Este pressuposto assume que devemos fazer uma análise económica (não extensiva) para descartar soluções que à partida não seriam economicamente viáveis.

No presente trabalho optou-se por exemplificar o cálculo de um sistema de circulação forçada (Figura 71).

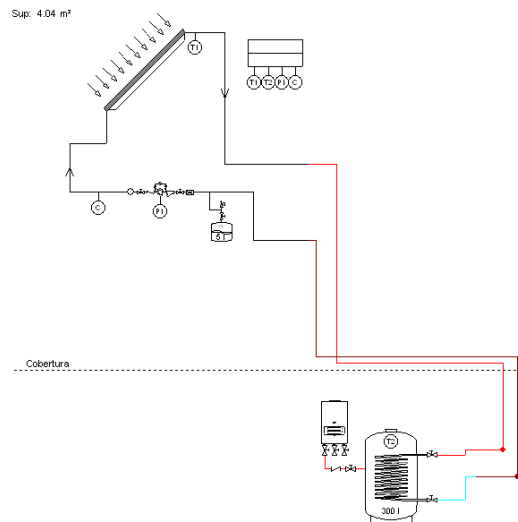


Figura 71 – Esquema circulação forçada (adaptado do CYPE)

Os coletores ficaram localizados na cobertura inclinada orientada a Sul. Existe uma zona técnica externa onde ficaram localizados todos os sistemas técnicos, depósito de armazenamento, bomba circuladores, vaso de expansão e os restantes componentes. A ligação de impulsão e retorno aos coletores será realizada pelo exterior do edifício, por tubagens devidamente protegidas dos fenómenos atmosféricos.

4.3.3. CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO AQS

As necessidades mensais de energia para aquecimento de AQS serão calculadas recorrendo à seguinte expressão. Esta tem em consideração a temperatura da água da rede e a temperatura desejada. Será calculada para cada mês do ano considerando um consumo constante.

$$Q_a = M_{AQS} \cdot c_{p,H_2O} \cdot \rho_{\text{água}} \cdot (\theta_{cal} - \theta_{red}) \cdot n_d$$

- Q_a - Necessidades médias mensais de energia (KWh)
- M_{AQS} - Consumo diário de água quente sanitária (l/dia)
- c_p - Calor específico da água (4,187 KJ/(Kg · °C))
- $\rho_{\text{água}}$ - Massa específica da água (Kg/m³)
- θ_{cal} - Temperatura da água para consumo (°C)
- θ_{red} - Temperatura média mensal da água da rede (°C)
- n_d - Número de dias do mês

Para o mês de Janeiro teríamos:

$$M_{AQS} = 40 \times 5 = 200 \frac{l}{dia} \rightarrow 0.20 m^3$$

$$n_d = 31$$

$$\theta_{cal} = 60 \text{ °C}$$

$$\theta_{red} = 15 \text{ °C}$$

$$Q_a^{mês} = \frac{(200/1000) \cdot 4.187 \cdot 1000 \cdot (60 - 15) \cdot 31}{3600} = 324 \text{ KWh/mês}$$

Apresenta-se no Quadro 25 o cálculo referente aos restantes meses do ano e a respetiva soma (valor anual).

Quadro 25 – Necessidade de Aquecimento AQS

Mês	n_d	Ocupação (%)	M_{AQS}	θ_{cal}	θ_{red}	Q_a (KWh/mês)
Janeiro	31	100	200	60	15	324
Fevereiro	28	100	200	60	15	293
Março	31	100	200	60	15	324
Abril	30	100	200	60	15	314
Maio	31	100	200	60	15	324
Junho	30	100	200	60	15	314
Julho	31	100	200	60	15	324
Agosto	31	100	200	60	15	324
Setembro	30	100	200	60	15	314
Outubro	31	100	200	60	15	324
Novembro	30	100	200	60	15	314
Dezembro	31	100	200	60	15	324
Anual	-	-	-	-	-	3817

As necessidades anuais de energia são de $Q_a = 3817 \text{ KWh/ano}$.

4.3.4. DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ACUMULAÇÃO

Na metodologia descrita no capítulo 3 devemos ter por metro quadrado de coletor o mínimo 50 litros a 180 litros. Segundo este princípio para um consumo de 30 l/pessoa deve-se ter um coletor com 0.6 m². Outra metodologia recomenda que o volume seja determinado como 1.5 a 2 vezes o consumo diário mensal. Sendo o consumo diário de 200 litros resulta num depósito de armazenamento de $1,5 \cdot 200 = 300$ litros.

4.3.5. CÁLCULO DA ENERGIA CAPTADA (F-CHART)

Aplicando o método F-Chart será determinada a fração solar e o rendimento esperado. Estes dados devem ser utilizados para otimizar a área dos coletores. Para tal é necessário conhecer as características do coletor em estudo. Na seleção do coletor do caso de estudo foi tida em consideração o seu rendimento ótico, recaindo a escolha sobre o que apresentava o maior rendimento. Foi utilizada a marca comercial Buderus, modelo SKS 4.0 com as seguintes características (Quadro 26) [34]:

Quadro 26 - Características coletor solar

Coletor solar	Logasol SKS 4.0
Tipo de montagem	vertical
Dimensões [mm]	1,145x2,070x90
Área total [m ²]	2,4
Área de abertura [m ²]	2,1
Área de absorção [m ²]	2,1
Volume do absorsor [l]	1,43
Peso sem carga [Kg]	46
Revestimento	Altamente seletivo (PVD)
Absortividade [%]	95±2
Emissividade [%]	5±2
Rendimento ótico	0,851
Coef. Perda linear [W/(m ² K)]	4,036
Coef. Perda secundária [W/(m ² K ²)]	0,0108
Capacidade térmica [J/m ² K]	10,080
IAM _{dir} [50°]	0,95
Pressão máxima [bar]	10
Fluxo nominal [Kg/h]	50

A utilização dos métodos F-Chart carece do conhecimento dos seguintes dados:

- Inclinação e Orientação;
- Área de Absorção;
- Rendimento ótico;
- Coeficiente de perdas lineares;
- Coeficiente de perdas secundárias;
- Volume de armazenamento.

Construindo uma relação rendimento – fração solar é possível constatar a variação da fração solar face ao rendimento do sistema (Figura 72):

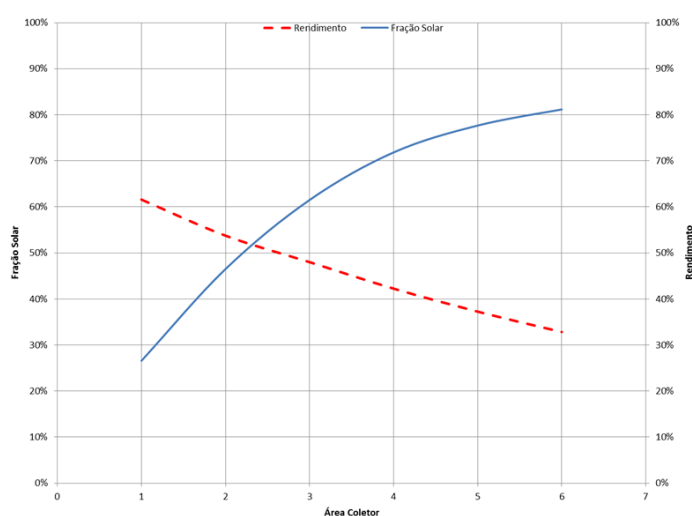


Figura 72 - Fração solar e eficiência do sistema

Para uma área de coletor de $2,1 \text{ m}^2$ teríamos o maior rendimento possível do sistema. É preciso ter em consideração que a seleção de uma área onde se maximize o rendimento não se traduz necessariamente numa maior rentabilidade do sistema. Existem diversos fatores a ter em consideração, devendo ser respeitada a imposição legislativa de um fornecimento de energia mínima. Com a utilização de dois coletores teríamos:

Aplicando o método F-Chart para dois coletores obtemos os seguintes resultados (Quadro 27):

Quadro 27 - Aplicação F-CHART

Mês	Rad. Inclín. KWh	Fornecida KWh	Desperdício KWh	Carga KWh	Apoio KWh
Janeiro	72	117	0	324	207
Fevereiro	90	161	0	293	132
Março	122	221	0	324	103
Abril	155	273	0	314	41
Maio	176	305	0	324	19
Junho	184	314	0	314	0
Julho	206	324	19	324	0
Agosto	194	324	6	324	0
Setembro	147	270	0	314	44
Outubro	122	227	0	324	97
Novembro	84	151	0	314	163
Dezembro	72	117	0	324	207
Total		2804	25	3817	1013

Fração Solar: 73%

Produtividade: $677 \text{ KWh}/(\text{m}^2 \text{ coletor})$

Rendimento global anual do sistema: 41%

Como a energia fornecida é superior à energia fornecida do coletor padrão podemos utilizar a configuração estudada pelo método F-Chart.

$$2804 \text{ KWh} > 2202 \text{ KWh} \rightarrow OK$$

Em todo o caso, um (pré)dimensionamento bem feito do ponto de vista energético tem em geral as seguintes características [35]:

- o sistema fornece entre 50% e 90% da energia requerida pela carga, podendo ser de 100% em alguns meses, tipicamente os de Verão;
- um desperdício de energia menos que 2% da energia captada.

Método orientado a partir do Rendimento

A escolha do rendimento e da fração solar esperado toma um papel preponderante na escolha da área do coletor. A fração solar é a principal medida de avaliação de desempenho do sistema solar. Procura-se em geral valores compreendidos entre 50% e 90% (como já foi referido). Abaixo desta gama o sistema está em geral subdimensionado, acima estará sobredimensionado. Mas estes valores devem ser

tomados como meramente um guia. A utilização deste fator como único critério de dimensionamento torna-se insuficiente.

O rendimento do sistema deve então ser considerado na avaliação do sistema solar. Trata-se da razão entre a energia fornecida para consumo e a disponível à face dos coletores. Não sendo um indicador habitualmente indicado é um guia interessante para o dimensionamento do sistema. Este é menos dependente dos perfis de consumo e do nível de radiação solar do que a fração solar. Um sistema terá tipicamente rendimentos na ordem dos 20% a 60%, conforme as características das cargas térmicas [35].

Com:

$$I_g = 1392,17 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{ano}$$

$$Q_a = 3817 \text{ KWh/ano}$$

$$n_d = 365 \text{ dias}$$

$$A_c = \frac{f \cdot Q_a^{ano}}{I_g \cdot \eta} = \frac{0,7 \cdot 3817}{1392,17 \cdot 0,5} = 3,83 \text{ m}^2$$

Esta área deve ser tomada meramente como uma referência. O método F-Chart apresenta melhores resultados sendo menos subjetivo.

4.4. DIMENSIONAMENTO

4.4.1. DESENHO CIRCUITO HIDRÁULICO

O desenho do circuito hidráulico deve ser realizado em planta e em axiometria. Na Figura 73 é representado um esquema da instalação mais próximo da realidade do projeto.

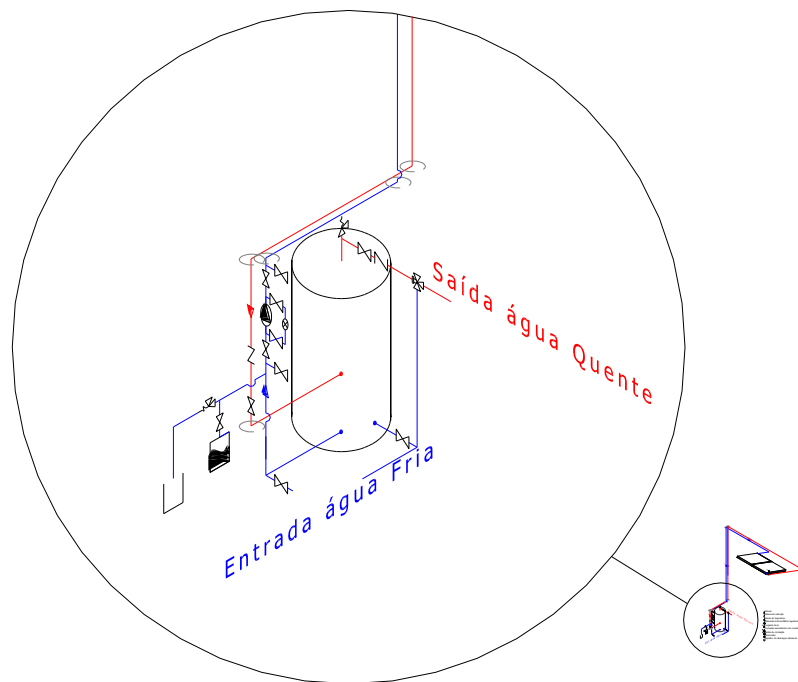


Figura 73 - Desenho circuito Hidráulico

O desenho do circuito hidráulico deve seguir a regras expostas no capítulo 3.11. Estando desenhado já se pode proceder ao dimensionamento das tubagens, da bomba de circulação e do vaso de expansão.

4.4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS COMPONENTES

O conhecimento das características dos equipamentos torna-se fundamental para estabelecer as condições de funcionamento do mesmo. Os principais componentes do sistema são o coletor e o depósito de acumulação. As principais características relevantes para o dimensionamento do circuito são as seguintes:

- Pressão máxima de funcionamento depósito/coletor;
- Volume do permutador de calor/coletor;
- Fluxo volumétrico (nominal, por m²).

Muita desta informação a respeito do coletor pode ser encontrada no Quadro 26. Em suma no Quadro 28 temos as características técnicas dos principais componentes do sistema:

Quadro 28 - Características para dimensionamento

	Pressão Máxima	Volume	Fluxo volumétrico
Coletor	10 bar	1,43 l	50 Kg/h
Deposito	10 bar	10 l	-

4.4.3. CÁLCULO DAS PERDAS DE CARGA NO SISTEMA

Para o dimensionamento é necessário conhecer as perdas de carga totais do sistema. As perdas totais são o somatório das perdas de pressão no coletor, no circuito solar e no permutador de calor.

$$\Delta p_{\text{total}} = \Delta p_{\text{col}} + \Delta p_{\text{circ}} + \Delta p_{\text{permutador}}$$

A perda no coletor depende do caudal e do número de coletores. Na Figura 74 está representada a perda de carga do coletor em função do caudal nominal.

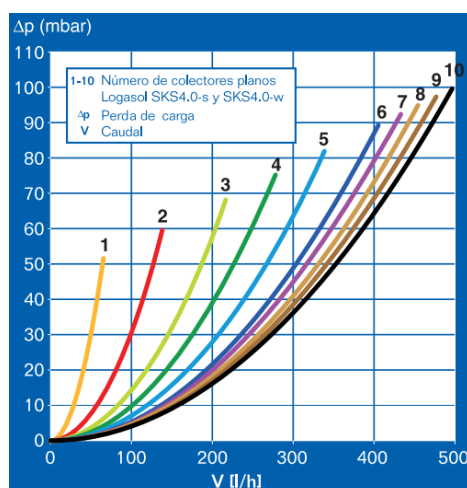


Figura 74 - Perda de carga coletor [34]

Para um coletor com um caudal nominal de 50 Kg/h cada temos uma perda de carga de 40 mbar, correspondente a 0,4079 m.c.a (4 KPa).

Esta deve ser a mais baixa possível, como limitação deve-se manter a velocidade abaixo de 1 m/s. Para o cálculo será utilizada a velocidade de referência de 0,5 m/s. Atendendo as características do coletor o caudal de dimensionamento poderia ser determinado pela seguinte expressão.

$$\dot{m} = \frac{10 \cdot F' \cdot U_L}{C_{P(Glicol/H_2O)}} = \frac{10 \cdot 4,036}{3912} = 0,0103 \frac{Kg}{s \cdot m^2} = 37,08 \frac{Kg}{m^2}$$

Outra alternativa em função da irradiação incidente para o cálculo do caudal ótimo assumindo-se uma restrição na diferença de temperatura de 10°C. O fluxo volumétrico pode ser calculado por:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_{G/H_2O} \times \Delta T} = \frac{500}{1,16 \cdot 10} = 43,10 \text{ Kg}/(m^2 \cdot h)$$

O fabricante recomenda um caudal nominal de 50 Kg/h, isto é, por coletor. Com um caudal de 50 Kg/h temos um caudal aproximadamente de 25 Kg/(m²·h). O dimensionamento da tubagem irá ser realizada para um caudal de 105 Kg/h (somatório dos dois coletores). Então:

$\dot{m} = 25 \cdot 2,1 = 52,5 \text{ Kg/h}$ por cada coletor, para uma ligação em paralelo temos um caudal volumétrico de 105 Kg/h = $2,9167 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$.

$V = 0,5 \text{ m/s}$

$$d_{tub} = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{\dot{m}}{v}}{\pi}} \Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot \frac{2,9167 \cdot 10^{-5}}{0,5}}{\pi}} = 0,09 \text{ m} \Rightarrow 9 \text{ mm}$$

O diâmetro escolhido deve ser superior ao calculado. A escolha do material e dos diâmetros disponíveis do mercado são variados. O cobre é o material mais utilizado para transporte de calor em condutas entre o coletor e o depósito de armazenamento, como tal será utilizado. No Quadro 29 estão expostas alguns diâmetros comerciais, o mais próximo no exemplo é 12x1.

Quadro 29 - Tubos de cobre [36]

D. ext x espess. (mm)	Peso (Kg/m)	Pressão de rutura (MPa)	Pressão de serviço (MPa)	Conteúdo de água (l/m)
6x1	0,140	98,60	24,65	0,13
8x1	0,196	76,95	18,49	0,028
10x1	0,252	44,88	11,22	0,050
12x1	0,308	37,40	9,35	0,079
14x1	0,364	32,06	8,01	0,113
15x1	0,392	29,92	7,48	0,133

Para o diâmetro escolhido têm de se compatibilizar o isolamento térmico na espessura adequada. Muitas das vezes é dada pouca importância ao isolamento térmico. Uma tubagem deve ter um isolamento térmico que permita uma eficiência elevada. Para tubos de até 35 mm e uma temperatura de 60 °C deve-se prever pelo menos um isolamento de 30 mm. O material do isolamento deve ter uma condutibilidade térmica de 0.035 W/(m² · K). As existências de falhas de isolamento devem ser tida em

conta, todos os acessórios devem ser isolados. O material isolante deve resistir a temperaturas de 150 – 170 °C. As condutas externas devem resistir aos UV, as intempéries e a corrosão.

Cálculo da perda de carga [29]:

$$\frac{1}{f_a^{1/2}} = -2,0 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon/d_{tub}}{3,7} + \frac{2,51}{Re \cdot f_a^{1/2}} \right)$$

Com:

$$\varepsilon = 0.0015 \text{ mm}$$

$$d_{tub} = 10 \text{ mm } (V = 0,37 \text{ m/s})$$

$$Re = \frac{V \cdot d_{tub}}{\nu} = \frac{0,37 \cdot 0,010}{2,564 \cdot 10^{-6}} = 1448,5$$

A determinação da viscosidade cinemática relativa do líquido solar é demonstrada no anexo A2. Um número de Reynolds muito baixo indica um movimento viscoso muito lento. Sendo menor que 2100 estamos perante um regime laminar. Em regime laminar e condutas cilíndricas, o fator de atrito pode ser calculado por $f = 64/Re$.

$$f = \frac{64}{1448,5} = 0,0442$$

Utilizando a expressão de Colebrook-white obtém-se um fator de atrito de 0,0547

Perda de carga Linear:

$$h_p = f_a \cdot \frac{V^2}{d_{tub} \cdot 2 \cdot g} = 0,0547 \cdot \frac{0,37^2}{0,010 \cdot 2 \cdot 9,81} = 0,038 \text{ m/m}$$

Com um circuito de 30 metros temos uma perda total de 1,15 m. Esta perda por metro linear é a máxima para o princípio de funcionamento do sistema ficando próximo do 40 mm.c.a. Consideradas as perdas de carga linear falta considerar as localizadas. Podem ser estimadas como uma percentagem das perdas lineares totais (15%), ou por constantes que caracterizam os acessórios. Adicionando a perda de carga linear à perda de carga nos acidentes resulta:

$$h_{pl} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{d} + \sum K \right)$$

Sendo:

$$\sum K = 0,8 \cdot 12 + 5 \cdot 1,05 + 5 \cdot 3 = 29,85$$

$$h_{pl} = \frac{V^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{f \cdot L}{d} + \sum K \right) = \frac{0,37^2}{2 \cdot 9,81} \cdot \left(\frac{0,0547 \cdot 30}{0,010} + 29,85 \right) + 0,5 = 1,35 \text{ m } (13,24 \text{ KPa})$$

Ou:

$$h_{pl} = 1,15 \cdot 1,15 = 1,32 \text{ (12,94 KPa)}$$

A perda de carga é influenciada pelo caudal e pela viscosidade do fluido térmico. No que diz respeito à água a sua importância poderia ser desprezada, o mesmo não se pode dizer quando utilizamos glicol. Conforme a temperatura temos as seguintes perdas de carga (Figura 75).

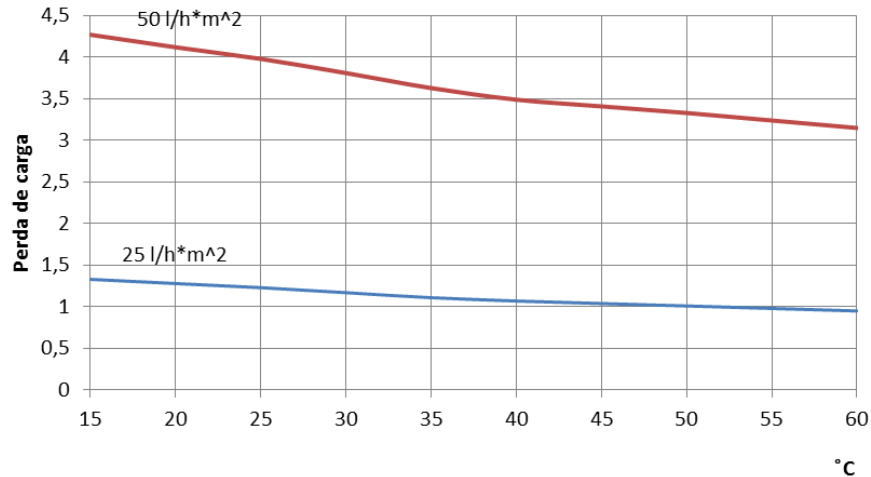


Figura 75 - Perda de carga em função da temperatura

4.4.4. CÁLCULO DA BOMBA DE CIRCULAÇÃO

No cálculo da perda de carga total será desprezada a perda de carga no permutador e considerada a perda de carga na bomba:

$$\Delta p_{\text{total}} = \Delta p_{\text{col}} + \Delta p_{\text{circ}} + \Delta p_{\text{permutador}} = 4 + 12,94 + 2,5 = 19,44 \text{ KPa (1,98 m. c. a)}$$

A potência é calculada segunda a seguinte expressão:

$$P_{\text{bomba}} = C \cdot \Delta p = 2,9167 \cdot 10^{-5} * 19,44 = 0,0006 \text{ KW} = 0,6 \text{ W}$$

Com:

P_{bomba} – Potência elétrica (KW)


C – Caudal (m^3/s)

Δp – Perda total de pressão da instalação (KPa)

A potência constada quando a seleção de uma bomba não tem significado sem se saber o seu rendimento. Alguns fabricantes só dizem que é de alto rendimento e especificam um consumo mínimo. Pode ser utilizado para determinar consumos energéticos, para tal era preciso saber o rendimento da mesma. Pegando na marca comercial Wilo selecionou-se a seguinte bomba (Quadro 30) em função da sua curva característica.

Em “http://www.wilo-select.com/L2006/inner.asp?FRAMED=1&AW__GROUP=DE” encontra-se uma ferramenta de seleção de bomba através das características de funcionamento e de uma estimativa do LCC da mesma.

Quadro 30 - Bomba de circulação

Wilo-Stratos ECO-STG	Especificações técnicas															
	Bomba de alta eficiência Wilo-Stratos ECO-STG 15/1-5-130															
	Carcassa da bomba: Ferro fundido Impulsor: PP + G/F 40 % Veio: Aço inoxidável Casquilho : Carvão impregnado com metal															
	Fluido: Etilenglicol 30 % Caudal: 0,105 m³/h Altura manométrica: 1,98 m Pressão de funcionamento/Pressão nominal: /PN10 Tipo de proteção: IP 44 Ligação roscada: Rp ½ (DN 15)															
	Dados do Motor:															
	Potência nominal P2: 0,029 KW Potência absorvida P1: 0,0591 KW Velocidade nominal: 3500 1/min Tensão nominal: 1~230V, 50 Hz Corrente máx: 0,46 A															
	<table><tr><th colspan="5">Altura mínima de aspiração</th></tr><tr><th>Temperatura</th><td>50</td><td>95</td><td>110</td><th>°C</th></tr><tr><th>Altura</th><td>0,5</td><td>3</td><td>10</td><td>m</td></tr></table>	Altura mínima de aspiração					Temperatura	50	95	110	°C	Altura	0,5	3	10	m
Altura mínima de aspiração																
Temperatura	50	95	110	°C												
Altura	0,5	3	10	m												

A sua curva característica pode ser com pressão diferencial constante ou variável. Definindo o seu ponto de funcionamento podemos determinar a potência absorvida (Figura 76 e 77).

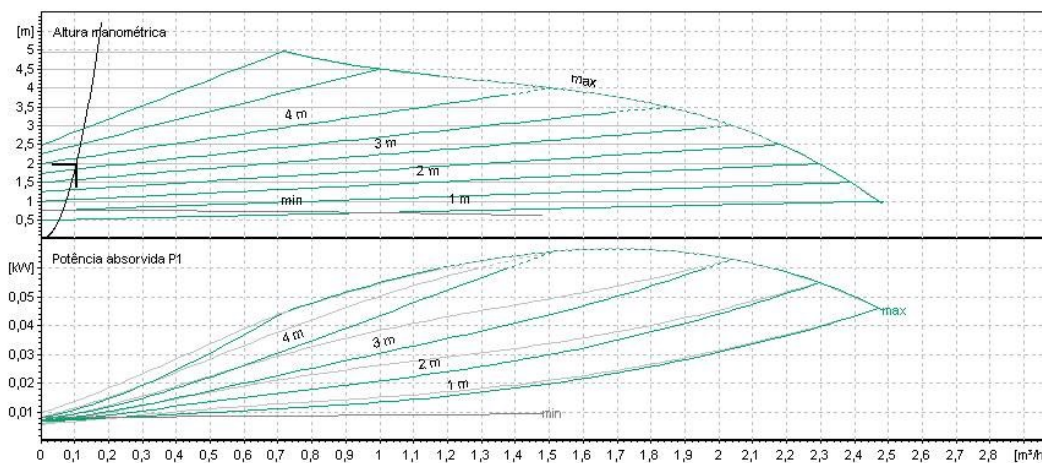


Figura 76 - Modo de controlo da pressão diferencial constante

Para um caudal de 0,105 m³/h e uma temperatura de 15°C e uma altura manométrica de 1,98 m temos uma potência absorvida de 9,15 W.

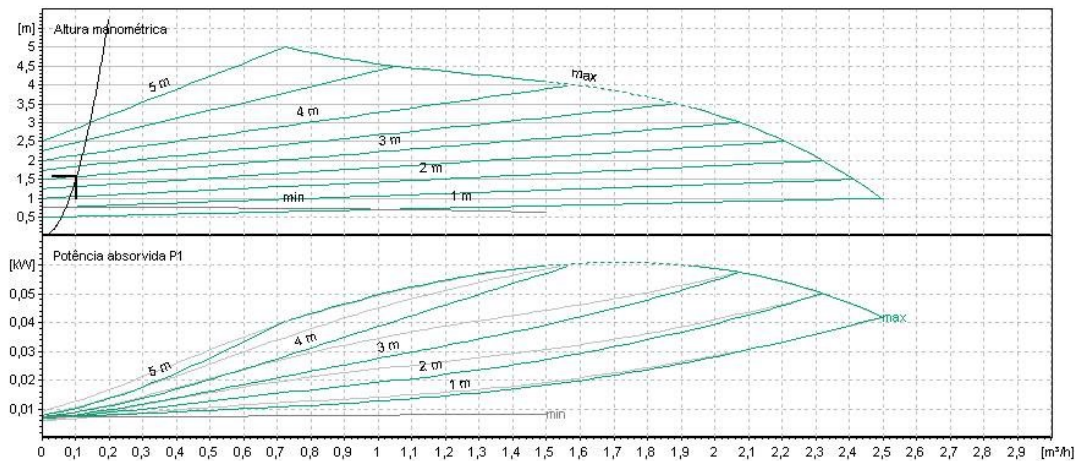


Figura 77 - Modo de controlo da pressão diferencial constante

Para um caudal de $0,105 m^3/h$ e uma temperatura de funcionamento de $60^\circ C$ e uma altura manométrica de 1,61 m temos uma potência absorvida de 7,32 W. O consumo mínimo da bomba é de 5,8 W.

4.4.5. CÁLCULO DO VASO DE EXPANSÃO

O dimensionamento do vaso de expansão é condicionado pelos restantes componentes do sistema. Antes de passar ao dimensionamento propriamente dito do vaso de expansão é preciso então determinar:

- A pressão máxima de funcionamento dos componentes do sistema;
- O volume total do circuito solar, dividido por coletor, tubagens e permutador;
- Temperatura máxima de funcionamento, dependente das características do coletor;
- Propriedades do fluido térmico, percentagem de glicol.

Tendo todos os dados base já se pode proceder ao dimensionamento do vaso de expansão. O cálculo do vaso de expansão fechado segue os seguintes passos:

- Calcular o volume total do circuito (tubagens, coletores, permutador);
- Determinar a temperatura máxima de funcionamento do sistema. Pode ser a temperatura de estagnação (depende do coletor) com um mínimo de $30^\circ C$ para as redes situadas no interior e $40^\circ C$ para redes situadas no exterior;
- Cálculo do coeficiente de expansão, com a temperatura máxima de funcionamento, tendo em conta a presença de uma solução anticongelante;
- Determinação da pressão de trabalho;
- Cálculo do coeficiente de pressão;
- Por último calcula-se o volume do vaso de expansão.

4.4.5.1. Temperatura máxima

Como temperatura máxima deve ser considerada a temperatura de estagnação. Esta temperatura pode ser lida nas características do coletor, já que a mesma é determinada de forma experimental. Caso não se tenha acesso a esse valor pode ser determinado a partir da curva de rendimento do coletor. Esta temperatura só deve ser considerada no coletor, já que não faz sentido considerar a mesma temperatura para todo o sistema.

$$\eta = F'(\tau\alpha) - F' \cdot U_L \cdot \frac{(t_m - t_a)}{I_g}$$

$$F'(\tau\alpha) = 0,851$$

$$F' \cdot U_L = 4,036$$

$$t_a = 20^\circ\text{C}$$

$$I_g = 900 \text{ W/m}^2$$

Igualando o rendimento igual a zero temo:

$$0 = 0,851 - 4,036 \cdot \frac{(t_m - 20)}{900} \Leftrightarrow t_m = 209^\circ\text{C}$$

Geralmente, em coletores planos com um bom isolamento, a temperatura de estagnação máxima está compreendida entre 160 – 200°C. Na realidade esta temperatura pode nem chegar a ocorrer no coletor, mas por segurança o vaso de expansão deve ser dimensionado para esta temperatura. A temperatura de estagnação pode ocorrer em dois casos. Primeiro se a bomba de recirculação falhar na sequência de irradiação solar elevada. Segundo se a temperatura do depósito de armazenamento atingir a temperatura máxima de armazenamento programada no controlador (caso da circulação forçada). O mesmo pode acontecer em períodos de férias onde não existe consumo de água quente sanitária. Nestas situações o absorvedor aquece até que as perdas de calor, através da convecção, radiação e condução, atinjam o valor de output térmico do coletor [8].

4.4.5.2. Pressão máxima e mínimo de funcionamento

A pressão máxima de funcionamento será ligeiramente menor que a pressão da válvula de segurança, esta deve ser inferior a pressão máxima de trabalho dos componentes do sistema. A pressão mínima de funcionamento do vaso de expressão deve ser tal que em qualquer ponto do circuito a pressão é superior a atmosfera ou superior a tensão de saturação de vapor a temperatura máxima de funcionamento.

A pressão de saturação pode então ser assim calculada pela seguinte expressão, com a temperatura máxima de funcionamento de 60 °C.

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot ((273,15+60)-273,15)}{(273,15+60)-36}\right)} = 19,97 \text{ KPa}$$

A pressão atmosférica é igual a 100KPa que é igual a 1 bar. Em qualquer caso deve-se tomar uma margem de segurança de 20 KPa para temperaturas até 90°C e 50 KPa para temperaturas superiores. A pressão mínima no ponto mais alto do sistema deve ser de 150 KPa equivalente a 1,5 bar.

4.4.5.3. Dimensionamento

Para o cálculo do vaso de expansão os dados são (Quadro 31):

Quadro 31 - Dados Base

Temperatura de estagnação:	209 °C
Volume do líquido solar	
Coletor:	1,43 litros
Permutador:	10 litros
Tubagem:	0,079 l/m (30 m)
Total:	15,23 litros
Características líquido solar	
Percentagem de Glicol:	30%
Pressão de funcionamento	
Máxima:	8 bar
Mínima:	1,5 bar

O vaso de expansão é constituído por dois volumes. O volume útil que é determinado pelo coeficiente de expansão do fluido e o volume total. No volume total compreende o volume útil e de gás inerte. Na determinação do coeficiente de expansão foi considerada uma divisão do sistema entre o coletor e o restante fluido do circuito solar, tendo em consideração que a distância entre o coletor e a depósito de acumulação é grande não se considerou que a temperatura da tubagem seja significativamente afetada.

Para temperaturas entre 30°C até 70°C (inclusive):

$$C_e = (-1,75 + 0,064 \cdot 60 + 0,0036 \cdot 60^2) \cdot 10^{-3} = 0,0151$$

Para temperaturas entre 140°C até 210°C (inclusive):

$$C_e = (-95 + 1,2 \cdot 210) \cdot 10^{-3} = 0,1570$$

Quando o fluido térmico é constituído por uma solução de etilénico glicol com água, o coeficiente de expansão deve ser multiplicado por um fator corretivo. Este é válido para uma concentração de 20% a 50% do volume do fluido térmico e uma temperatura de 65°C até 115°C.

$$f_c = 20,043 \cdot (1,8 \cdot 115 + 32)^{-0,50299} = 1,28$$

$$f_c = 20,043 \cdot (1,8 \cdot 65 + 32)^{-0,50299} = 1,62$$

Onde:

$$a = -0,0134 \cdot (30^2 - 143,8 \cdot 30 + 1918,2) = 20,043$$

$$b = 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot (30^2 - 94,57 \cdot 30 + 500) = -0,50299$$

Como a gama de aplicação da expressão anterior é limitada a uma gama de temperaturas limitada optou-se por entrar com a temperatura máxima de 115 °C. Então o coeficiente de expansão fica:

$$C_e = 0,1570 \cdot 1,28 = 0,2010 \text{ (coletor)}$$

$$C_e = 0,0151 \cdot 1,62 = 0,0244 \text{ (tubagem e permutador)}$$

Para o vaso de expansão com diafragma o coeficiente de expansão é:

$$C_p = \frac{8}{8 - 1,5} = 1,45$$

Nos instalações solares que possam estar em estagnação (para evitar fugas do líquido), os vasos de expansão devem poder conter as dilatações do líquido e o vapor que pode formar-se. Para dimensionar vasos de expansão capazes de proporcionar este desempenho, é necessário calcular antes de mais o seu volume útil.

$$V_u = C_e \cdot V_{circ} = 0,201 \cdot 2 \cdot 1,43 + 0,0244 \cdot 12,37 = 0,876$$

Ao volume útil calculado adicionamos o volume dos coletores (possibilidade de formação de vapor) e multiplicamos por um coeficiente de segurança. Ficando então:

$$V_u = (0,876 + V_{coletor}) = 3,74 \text{ l}$$

O volume total é calculado segundo a expressão:

$$V_t = V_u \cdot C_p + V_{coletor} = (0,201 \cdot 2 \cdot 1,43 + 0,0244 \cdot 12,37) \cdot 1,45 + 1,43 \cdot 2 = 4,13 \text{ l}$$

O cálculo leva a escolha de um vaso de expansão comercial de 5 litros, pressão máxima de funcionamento de 10 bar com uma percentagem máxima de glicol de 50%. A pressão de carga do vaso deve ser corrida relativamente a altura geométrica, sendo de 2,5 bar. Sendo 1 bar da altura geométrica e 1,5 bar da pressão mínima no ponto mais alto do sistema. Antes de encher o sistema deve-se verificar a pressão de carga no vaso. Os vasos de expansão são pré-carregadas com azoto. A pressão de pré-carga pode ser alterada com ar comprimido.

Este deve ser instalado no retorno do circuito solar, necessariamente na aspiração da bomba no circuito de retorno (que vai para os coletores) com o tubo de ligação virado para baixo (Figura 78) e sem isolamento térmico. Caso só seja possível instalado como a figura da direita deve-se instalar um purgador de ar como se exemplifica.

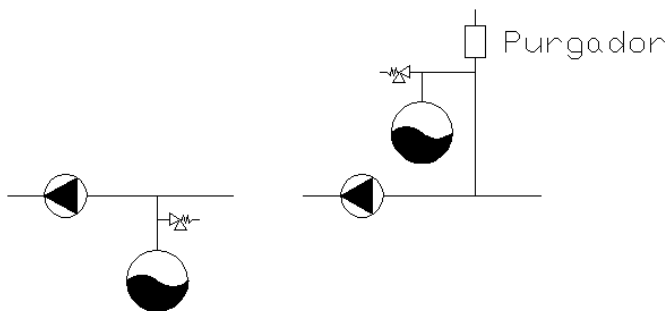


Figura 78 - Montagem vaso de expansão

4.4.6. ESTRUTURA DE SUPORTE, MATERIAIS E PROTEÇÕES

4.4.6.1. Processos prévios à instalação

Antes de se proceder a montagem dos coletores deve-se seguir alguns passos típicos que são comuns a outro tipo de instalação na construção civil.

- Obter a aprovação do cliente quanto aos prazos de instalação do sistema.
- Planificar o processo de montagem, prevendo necessidade de material e de pessoal para uma execução adequada da mesma.
- Conhecer previamente a tecnologia e os tipos de componentes e materiais intervenientes.
- Visitar o local de construção, identificando possíveis constrangimentos notificando o respetivo responsável pelo projeto.
- Comprovar o espaço disponível para instalação, respeitando as distancias mínimas entre filas e a correta orientação dos coletores ao sul geográfico. Às vezes é preferível aceitar alguns desvios (até 20°) e a inclinação do telhado do que realizar um complexo sistema de fixação.

4.4.6.2. Manipulação e armazenamento

Antes da instalação dos coletores estes podem ser armazenadas sobre uma superfície plana, devendo em todo o caso estar protegidos contra ações climáticas. Depois de retirados da sua embalagem estes podem ser depositados no exterior num ângulo compreendido entre 20° e 70°, com a cobertura transparente voltada para cima. Devem ser evitadas as posições horizontais e verticais. Só inclinações entre 40° e 70° é que se podem apoiar, um sobre o outro, com um máximo de seis coletores. Para se evitar dilatações antes da instalação é conveniente cobrir os coletores. Só quando o enchimento estiver realizado e o sistema estiver operacional é que se deve destapar.

4.4.6.3. Estrutura de suporte

A fixação dos coletores solares depende do tipo de telha usada e da estrutura de suporte da mesma. Para coletores com a mesma inclinação que a cobertura a estrutura de suporte a ser utilizada depende da estrutura da cobertura (Figura 79).

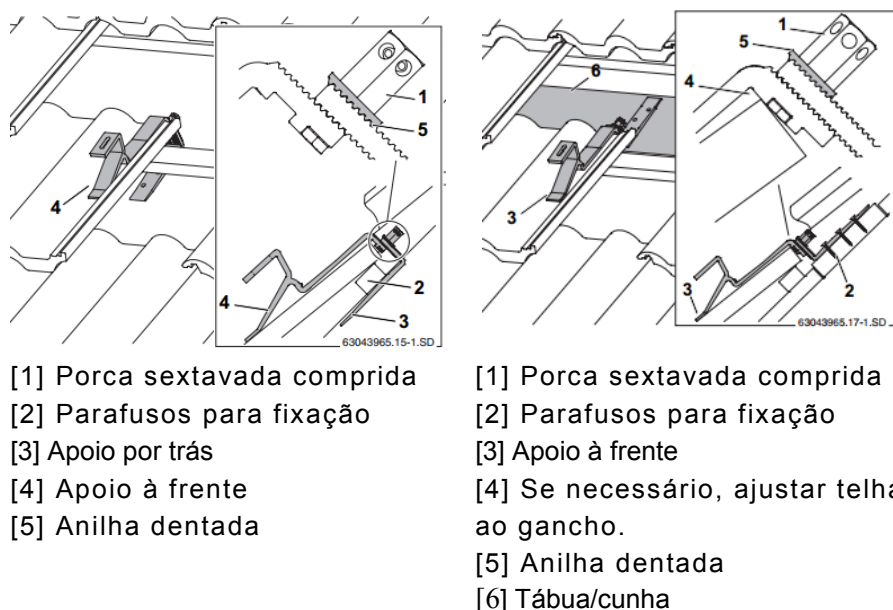


Figura 79 - Suporte para cobertura inclinada [37]

Em alguns telhados pode ser necessário colocar um apoio intermédio, com a colocação uma tábua para o gancho fique corretamente montado. Estes suportes podem ser adaptados a diversos tipos de telhados. Com a montagem dos ganchos podem ficar telhas soltas, promovendo a infiltração de água. Nesses casos deve-se ajustar a superfície da mesma ao gancho de suporte. Quando temos uma cobertura com chapa ondulada não se podem utilizar ganchos.

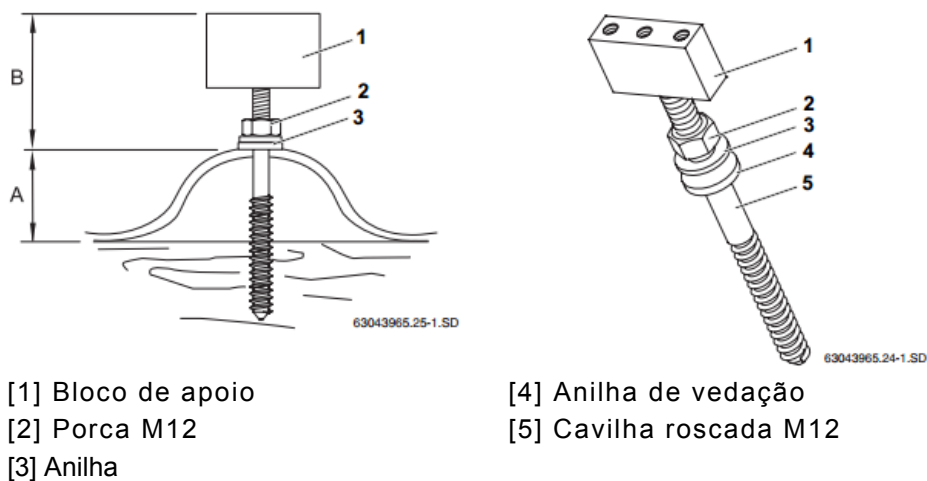


Figura 80 - Suporte para cobertura inclinada com chapa metálica [37]

Com uma broca para metal de 13 mm, perfurar, de acordo com a posição das cavilhas roscada, através do telhado de chapa ondulada (Figura 80). Não perfurar a madeira que esta por baixo. Introduzir uma broca de madeira de 6 mm num gabarito de furação e perfurar verticalmente na estrutura de madeira. A furação nunca deve ser feita na depressão da chapa.

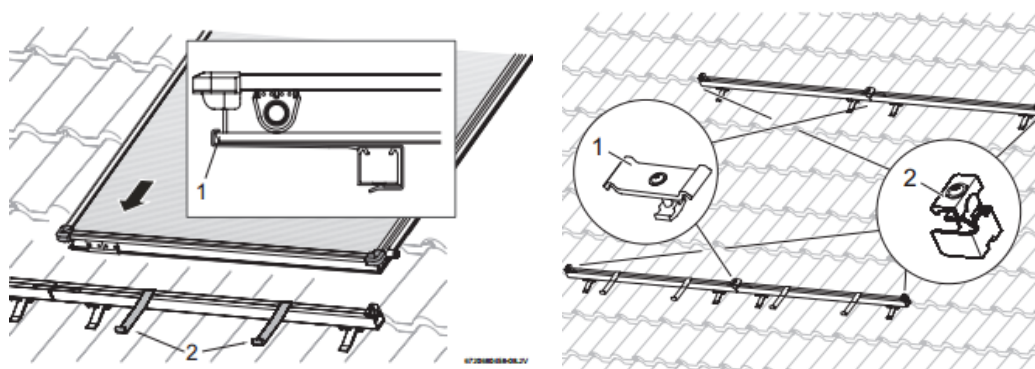


Figura 81 – Colocação do coletor [37]

Montar a proteção contra deslizamento, para proteger os coletores contra um deslizamento. Em cada coletor, devem ser fixadas duas proteções contra deslizamento nos perfis inferiores (Figura 82).

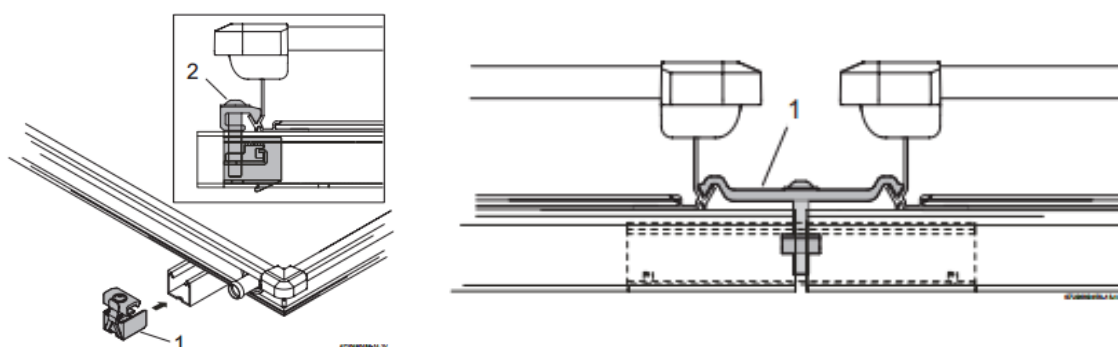


Figura 82 – Suportes do coletor [37]

A fixação dos coletores à estrutura é realizada conforme ilustrado na Figura 82. Nos sistemas de circulação natural o processo de fixação é idêntico ao descrito anteriormente, só existem cuidados adicionais de segurança devido ao seu peso adicional. Os cuidados recaem sobre a fixação do depósito de acumulação. Dependendo do volume de armazenamento do sistema estamos a falar de uma carga que pode ir dos 290 a 510 Kg [38].

Deve verificar-se se existe uma estrutura de suporte com capacidade de carga suficiente, caso seja necessário deve-se proceder ao reforço da mesma. Quando temos uma estrutura de madeira esta deve ter uma espessura mínima de 40*40 mm para a fixação de cavilhas roscadas. Quando exista a necessidade de adicionar novos elementos estruturais devem-se respeitar as medidas entre apoios.

O procedimento de montagem das cavilhas é o mesmo descrito anteriormente. A utilização de ganchos só pode ser efetuada para uma inclinação compreendida entre 25° a 35°, sem cargas de neve admissível e uma altura máxima de 20 metros. Para os restantes casos devem ser utilizadas cavilhas.

4.4.6.4. Processo de montagem

Os passos típicos a realizar na instalação podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- Estrutura de montagem dos coletores e impermeabilização do telhado. A fixação de estrutura não deve enfraquecer a estrutura do telhado;
- Montagem das tubagens, dos diferentes elementos (válvulas, vaso de expansão, bomba, etc.) e a instalação e ligação do depósito acumulador. Não é conveniente nesta fase proceder ao isolamento destes elementos, já que é necessário fazer posteriormente as provas de estanquidade do circuito para detetar possíveis fugas;
- Como última operação a montagem dos coletores na estrutura. É responsabilidade do instalador a correta orientação e inclinação, assim como a devida separação entre as fileiras de coletores.

4.4.7. SISTEMA AUXILIAR – SELEÇÃO

Com vista a assegurar o défice de energia no abastecimento de água será necessário dispor de um sistema auxiliar de aquecimento. Este terá capacidade para fornecer toda a energia necessário sem considerar o sistema solar térmico, em qualquer caso nunca deverá ser ligado ao sistema primário.

O sistema será ligado em série com o sistema de acumulação, será preferencialmente um sistema do tipo termostático. Caso já exista um sistema de aquecimento instantâneo tipo esquentador existe a possibilidade de utilizar um módulo solar (Figura 83).



Figura 83 - Módulo solar [39]

Para o presente caso de estudo será feita a escolha de um sistema de aquecimento instantâneo (tipo esquentador). Terá de ter um rendimento superior ou igual a 84% para cumprir a imposição regulamentar. O cálculo da capacidade do esquentador poderia ser fundamentada por um caudal, mas devido às limitações deste tipo de sistema a um caudal máximo de 18 l/min, será adotado o máximo. De entre as principais características do equipamento destaca-se as expostas no Quadro 32.

Quadro 32 - Esquentador termostáticos [40]

Gama sensor HDG	WTDG 18
Potência útil (KW)	30,5
Eficiência 100% carga nominal	88,4%
Eficiência 30% carga nominal	78,0%
Débito de água	
Máx (l/min)	18
Pressão máxima da água (bar)	12
Caudal mínimo de funcionamento (l/min)	2,5
Pressão mínima de funcionamento (bar)	0,25
Consumo gás	
Butano/propano (Kg/h)	2,75
Natural (m ³ /h)	3,7

A seleção do equipamento de apoio deveria ser avaliada em termos de custo de ciclo de vida com outras alternativas que satisfizessem as mesmas necessidades, não sendo o âmbito do presente trabalho e atendendo que se destinaria unicamente para aquecimento de AQS parece a partida a melhor solução.

4.5. COMPARAÇÃO CYPE VS SOLTERM

Atualmente existe uma obrigação legislativa na utilização de um programa de cálculo na avaliação energética dos sistemas solares térmicos. O programa utilizado deve ser o Solterm na sua última versão disponível. No presente capítulo será realizada uma comparação entre o Solterm e o Cype - módulo instalação solar térmica. Sendo o consumo médio diário de referência de 40 l/(dia·pessoa), com a impossibilidade de se calcular para o consumo de referência (sendo de 30 l/(dia·pessoa)), foi aumentado o número de ocupantes para perfazer um consumo diário de 210 litros. Em suma os dados utilizados na simulação são apresentados no Quadro 33.

Quadro 33 - Comparação Cype - Solterm

	Cype 2014.b	Solterm	F-Chart
Clima local:	Porto	Porto	Porto
Irradiação solar mensal (inclinada)	-	138,2 KWh/m ²	135 KWh/m ²
Fração Solar	73%	73,2%	72%
Apoio	1057,10 KWh	1076 KWh	1126 KWh
Fornecido	2887,6 KWh	2935 KWh	2885 KWh
Carga	3944,7 KWh	4011 KWh	4011 KWh
Volume de acumulação (l)	300	300	300
Caudal (l/(h · m ²))	60	60	-
Diâmetro tubagem (mm)	16	16	-
Isolamento (mm)	30	30	-
Mistura anticongelante	30%	30%	-
Perfil de consumo	Não se sabe	Ao fim do dia	Anexo A1

Existe uma diferença na carga calculada entre os dois programas, ambos consideram a temperatura da água de reposição a 15°C constante ao longo do ano.

$$Q_a^{ano} = \frac{(210/1000) \cdot 4.187 \cdot 1000 \cdot (60 - 15) \cdot 365}{3600} = 4011 \text{ KWh/ano}$$

O motivo da diferença entre os valores constatados não foi evidenciado, mas constata-se o mesmo na energia fornecida tendo uma fração solar idêntica. Contudo pode ser justificada pelos arredondamentos, sendo a radiação solar no Cype expressa em MJ com poucas casas decimais.

5

ANÁLISE DO CUSTO DO CICLO DE VIDA (LCC)

5.1. CUSTO DO CICLO DE VIDA - LCC

5.1.1. INTRODUÇÃO

O cálculo do custo do ciclo de vida (LCC) segue os critérios estabelecidos pela Federal Energy Management Program (FEMP). Utilizados para a avaliação económica de projetos de conservação de água e energia e projetos de energia renovável [27].

No estudo do LCC (Life Cycle Cost) é fundamental ter documentação para auxiliar a avaliação do processo, criando apoio à decisão e facilitando os estudos futuros. Os sistemas solares térmicos são relativamente recentes, essa documentação não tem uma expressão significativa e a que existe é tratada pelas empresas e mantida no seu seio. A informação deve ser tratada da forma mais simples possível e adequada em quantidade para o caso em estudo.

Numa primeira fase do LCC temos de identificar o que se pretende analisar, é importante entender que análise vai ser realizada e que tipo de decisão vai ser tomada. Quando analisamos várias soluções com diferentes tempos de vida útil a escolha do período de estudo deve recair sobre a maior expectativa de vida útil. Devendo-se prolongar a vida útil de qualquer alternativa que termina antes do final do período de serviço comum, assumindo uma substituição total ou parcial dos seus componentes.

Existem diversos tipos de custos associados com a aquisição, operação, manutenção de um sistema. A escolha dos custos a serem considerados é uma das primeiras decisões a ser tomada, é preciso avaliar os efeitos económicos que vão resultar de cada alternativa. Não é preciso considerar todos os custos relacionados com o projeto, os custos que não têm uma implicação significativa podem ser desprezados. Custos que são os mesmos para todas as alternativas, mesmo que tenham alguma influência podem ser desprezados. Os custos com energia, por exemplo são prováveis que sejam relevantes e significativos na análise de projetos alternativos.

Os custos podem ser classificados em diferentes categorias (Figura 84) dependendo do papel que desempenham no LCC. As categorias mais importantes distinguem-se entre:

- Custos de Investimentos Inicial;
- Custos de Funcionamento incluindo os custos de energia e os custos de substituição periódica;
- Custos de eliminação/residual.

Os custos de Investimento incluem os custos relacionados com o planeamento, projeto, compra e montagem. O valor residual (revenda, resgate, ou custos de eliminação) é incluído como custos de eliminação/residual, devendo este ser somado ou subtraído ao valor do investimento inicial no final da vida útil.

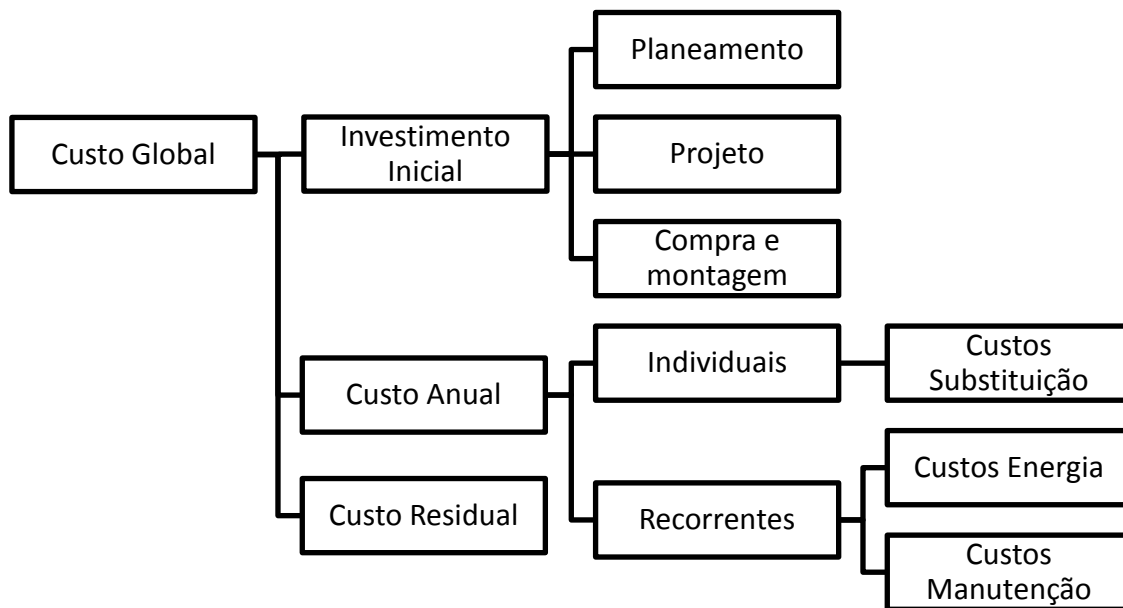


Figura 84 - Categoria de custos

Os custos de funcionamento, incorporam a manutenção e reparação incluindo custos com energia. Os custos podem ser ainda distinguidos entre iniciais e futuros. Esta distinção torna-se útil ao calcular as medidas payback simples ou com desconto.

5.1.2. FÓRMULA GERAL

A fórmula geral exige que todos os custos possam ser identificados por ano e quantidade. Esta fórmula geral, embora simples, a partir de um ponto de vista teórico, pode exigir cálculos extensos, especialmente quando o período de estudo é elevado.

$$LCC = I + Repl - Res + E + W + OM\&R \quad (38)$$

Com:

LCC – Valor presente do LCC

I – Custos de Investimento Inicial

$Repl$ – Custos de substituição de capital

Res – Valor residual

E – Custos com Energia

W – Custos com água

$OM\&R$ – Custos de operação, manutenção e reparação.

Na utilização deste método devem ser conhecidos os seguintes pontos para uma correta utilização:

- Escolher entre duas ou mais alternativas mutuamente excludentes, com base no menor LCC;
- Todas as alternativas devem atender aos requisitos mínimos de desempenho estabelecidos;
- Todas as alternativas devem ser estudadas para o mesmo ano base e período de estudo;
- Os fluxos financeiros positivos devem ser subtraídos aos custos;
- Se existirem medidas que não se consiga contabilizar em termos monetários devem ser quantificados de alguma forma, se tiverem algum significado.

5.1.3. DESCONTO E TAXA DE DESCONTO

O Desconto é o processo inverso da capitalização. Se um determinado capital produz juro num certo período de tempo, e se considerarmos que o juro é o incremento do capital inicialmente aplicado, o desconto é o valor desse capital num momento anterior. Então o processo de desconto é aplicado quando se pretende reportar o valor de um capital futuro a um momento anterior.

As taxas de desconto são geralmente baseadas nas taxas de juro do mercado, ou seja, as taxas de juro nominais. Estas geralmente servem de base para a seleção de taxas de desconto nominais, que são utilizadas para descontar os custos futuros expressos em valores correntes. Em contraste, a taxa de desconto real necessária para o cálculo do valor da moeda a valor constante não reflete a taxa de inflação. Esta pode ser obtida a partir da taxa nominal, D , se a taxa de inflação for conhecida. Sendo um conceito semelhante ao juro, também o desconto depende do tempo. A taxa de desconto real (d) pode ser assim calculada pela seguinte expressão:

$$d = \frac{1 + D}{1 + i} - 1 \quad (39)$$

Sabendo a taxa real e a inflação pode-se calcular a taxa nominal.

$$D = (1 + i) \cdot (1 + d) - 1 \quad (40)$$

Com:

D - Taxa de juro nominal

i - Inflação

d - Taxa de desconto real

A taxa de desconto nominal pode ter como referência a taxa de juro nominal. Esta taxa seria a que uma instituição bancária pagaria por se colocarmos o nosso dinheiro a render. Para um $D=5\%$ e $i=2\%$ resulta uma taxa de desconto real:

$$d = \frac{1 + 0,05}{1 + 0,02} - 1 = 0.0294$$

O valor presente de 100 € que ocorre no ano 5 com uma taxa de desconto de 2,94%:

$$P_V = 100 \cdot \frac{1}{(1 + 0,0294)^5} = 86,51 \text{ €}$$

A grande preocupação do banco central passa por garantir a estabilidade de preços, sendo a missão mais frequente evitar períodos com inflação muito alta. Atualmente existe um objetivo de se manter a

inflação abaixo, mas perto dos 2%. A inflação atingiu um mínimo histórico acompanhado com um mínimo histórico da taxa de juro central de 0,25%. O Banco central europeu antecipa uma inflação baixa na zona euro por um longo período de tempo, não especificando o que é longo período. A inflação reduz o poder de compra do dinheiro ao longo do tempo, enquanto a deflação aumenta.

O valor presente de um montante futuro é sensível à taxa de desconto e ao número de anos em o valor é atualizado. Note-se que o valor presente de um montante futuro calculado utilizando uma taxa de desconto de 4% é significativamente maior que o valor presente de taxa de 7% ou 10% depois de alguns anos (Figura 85). Os projetos avaliados com uma taxa menor têm um valor presente maior.

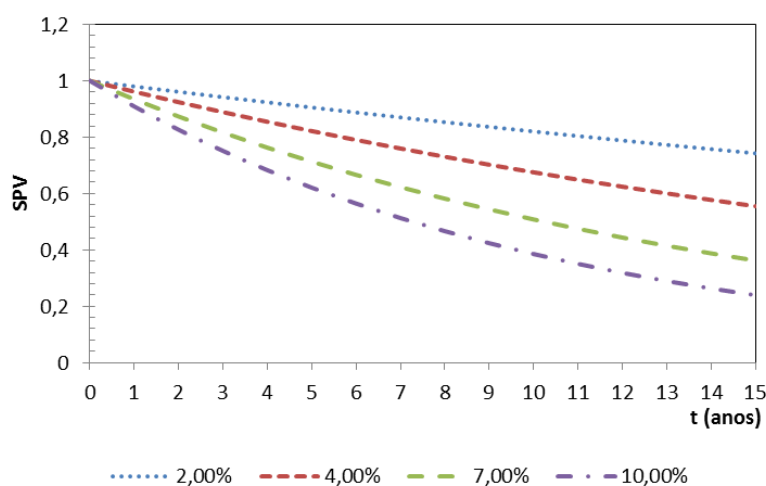


Figura 85 - Variação do Fator de atualização SPV

Poucos produtos têm preços que mudam exatamente com a taxa inflação, mas mudam aproximadamente a mesma taxa. O preço da energia é um tipo de custo que se desvia significativamente da inflação geral. Por esta razão a metodologia da FEMP LCC para avaliação de investimentos em conservação de energia deve ser tida em conta. Por esta razão recomenda-se que os custos futuros expressos em valor constantes, geralmente assumem uma taxa de atualização igual a zero para todos os custos que não estão relacionados com a energia. No Figura 86 exemplifica-se a variação do fator de desconto UPV*.

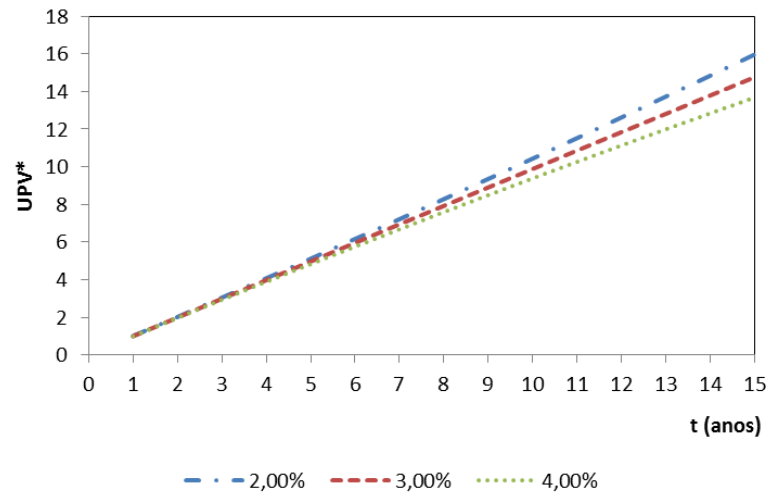


Figura 86 - Variação do fator de atualização UPV*

Mantendo constante (e) e alterando (d) o valor futuro é menor com o aumento de (d).

5.1.4. FÓRMULAS DE ATUALIZAÇÃO

Como já foi referido, é necessidade estabelecer um período comum de estudo. É também essencial que o mesmo cenário económico seja utilizado para as diversas alternativas. Quando se escolhe entre os potenciais investimentos, estes são sensíveis aos fluxos de caixa gerados. Um investidor prefere receber mais cedo ou mais tarde por duas razões: o valor do dinheiro não é fixo ao longo do tempo por causa da inflação, quanto mais cedo o dinheiro for investido maior será o retorno.

Quando se investe a uma determinada taxa o valor futuro pode ser calculado utilizando a seguinte expressão:

$$P_t = P_0 + i \cdot P_0 = P_0 \cdot (1 + i) \quad (41)$$

Esta fórmula é de juros compostos padrão, usada com taxas de atualização, serve para calcular valores que podem ser considerados como sendo no tempo equivalente, do ponto de vista do investimento.

Após t anos, o valor futuro seria:

$$P_t = P_0 \cdot (1 + i)^t \quad (42)$$

A taxa de atualização é um tipo especial de taxa de juro. Esta permite comparar diferentes gastos para diferentes tempos.

$$P_V = \frac{F_t}{(1 + d)^t} \quad (43)$$

Dependendo dos fluxos financeiros e da sua ocorrência no tempo existem fatores que são mais adequados. Os três fatores mais utilizados na análise LCC são:

- Valor presente individual (SPV)
- Valor presente uniforme (UPV)
- Valor presente uniforme modificado (crescimento diferente da inflação) (UPV*)

SPV single present value (fator):

$$P_V = F_t \cdot \frac{1}{(1 + d)^t} \quad (44)$$

UPV uniform present value (fator), que serve para calcular o valor presente de uma série de valores de caixa que ocorrem anualmente ao longo de um determinado período de estudo, sendo os mesmos iguais ao longo do ano.

$$P_V = A_0 \cdot \frac{1}{(1 + d)^1} + A_0 \cdot \frac{1}{(1 + d)^2} + A_0 \cdot \frac{1}{(1 + d)^3} + \dots$$

$$P_V = A_0 \cdot \frac{(1 + d)^n - 1}{d \cdot (1 + d)^n} \quad (45)$$

A_0 – Valor anual no ano base (ano=0)

UPV* modified uniform present value (fator), é utilizado para montantes anuais recorrentes que não são uniformes ao longo do tempo, mudando de ano para ano a uma taxa conhecida (e). Esta taxa de variação pode ser positiva ou negativa, mas geralmente reflete um aumento de preços ao longo do tempo. O valor pode ser calculado ano a ano ou utilizando a expressão fechada.

$$P_V = A_0 \cdot \frac{(1 + e)^1}{(1 + d)^1} + A_0 \cdot \frac{(1 + e)^2}{(1 + d)^2} + A_0 \cdot \frac{(1 + e)^3}{(1 + d)^3} + \dots$$

$$P_V = A_0 \cdot \frac{1 + e}{d - e} \cdot \left(1 - \left(\frac{1 + e}{1 + d} \right)^n \right) \quad (46)$$

A distinção entre custos individuais e custos anual recorrente permite determinar a fator a ser utilizado na sua análise. Os custos individuais (custos de uma á vez) ocorrem em uma ou varias vezes durante o período de estudo em intervalos superiores a um ano, o fator SPV é o mais adequado para os custos individuais. Os custos recorrentes anualmente ocorrem aproximadamente na mesma quantidade. Estes custos são de manutenção, energia e custos com água. O fator que se apropria para quantidades anualmente recorrentes é o UPV e UPV*. Se os custos recorrentes são os mesmos todos os anos o fator UPV é o mais adequado, se são esperados que mudem a um ritmo diferente o fator UPV* é o mais indicado.

5.2. MEDIÇÃO DO DESEMPENHO

Podem aplicar-se medidas suplementares de medição de desempenho económico a cada uma das alternativas de investimento.

- Poupança líquida - Net Saving (NS);
- Rácio entre poupança e investimento - Saving/Investment ratio (SIR);
- Taxa interna de rentabilidade – adjusted internal rate of return (AIRR);
- Período de retorno – Payback Period (PB).

5.2.1. POUPANÇA LÍQUIDA (NS)

A poupança líquida (NS) permite medir o desempenho económico de um projeto, principalmente na redução de custos com energia. As poupanças líquidas para um projeto alternativo, em relação a um caso base designado, podem ser calculadas simplesmente subtraindo o LCC da alternativa (LCC_A) ao LCC do caso base (LCC_B).

$$NS = LCC_B - LCC_A \quad (47)$$

Enquanto o NS é maior que zero, o projeto é considerado eficaz. Isto exige que o LCC_A seja menor do que o base. A melhor alternativa será a que conduz a um maior NS. Em suma o NS pode ser utilizado para tomar os seguintes tipos de decisão (Quadro 34):

Quadro 34 – Critérios de decisão NS

Tipo de decisão	NS	Critério
Aceitação/Rejeição	Sim	>0 / <0
Nível de eficiência	Sim	Máximo
Seleção do sistema	Sim	Máximo
Interdependências dos sistemas	Sim	Máximo
Prioridade do Projeto	Não	-

5.2.2. RÁCIO POUPANÇA E INVESTIMENTO (SIR)

O SIR é uma medida de desempenho económico de uma alternativa de projeto que expressa a relação entre as suas economias e o seu aumento de custo de investimento. É uma variante do benefício – custo para utilizações, quando os benefícios ocorrem principalmente com redução nos custos de operação relacionados.

A alternativa de projeto é considerada economicamente justificável quando o SIR é maior que 1. Isto equivale a dizer que as suas poupanças são maiores do que os seus custos de investimento. Não se deve utilizar o SIR para escolher alternativas de projeto mutuamente excluídas.

Uma fórmula prática é apresentada abaixo, esta fórmula apresenta os valores de cálculo para cada categoria de custos.

$$SIR = \frac{\Delta E + \Delta W + \Delta OM\&R}{\Delta I_0 + \Delta Repl - \Delta Res} \quad (48)$$

Com:

$\Delta E = E_B - E_A$ (Poupança de Energia da solução alternativa)

$\Delta W = W_B - W_A$

$\Delta OM\&R = OM\&R_B - OM\&R_A$ (Poupança (ou aumento) dos custos de manutenção)

$\Delta I_0 = I_A - I_B$ (custos adicionais de investimento requerido pela alternativa)

$\Delta Repl = Repl_A - Repl_B$ (Custos Adicionais de Reposição)

$\Delta Res = Res_A - Res_B$ (Valor adicional do valor Residual)

No caso de SIR=12 significa que o projeto de conservação de energia vai gerar um retorno médio de 12 € por cada 1 € investido.

Resumo do Método SIR:

- Um investimento é rentável se o seu SIR é maior que 1, o que é equivalente a uma economia líquida maior que zero;
- O SIR é uma medida relativa, que deve ser calculada em relação a um caso base designado;
- O cálculo deve ser realizado para o mesmo período de estudo e mesmo cenário económico;
- O SIR é útil para avaliar uma única alternativa de projeto contra um caso de base para a classificação ou alternativas de projeto independente, mas não é útil para avaliar várias alternativas mutuamente exclusivas.

O SIR pode então ser utilizado para tomar os seguintes tipos de decisão (Quadro 35):

Quadro 35 – Critérios de decisão SIR

Tipo de decisão	SIR	Critério
Aceitação/Rejeição	Sim	>1,0 / <1,0
Nível de eficiência	Não	-
Seleção do sistema	Não	-
Interdependências dos sistemas	Não	-
Prioridade do Projeto	Sim	Por ordem decrescente

5.2.3. TAXA INTERNA DE RETORNO (AIRR)

O AIRR é uma medida de rendimento anual a partir de um projeto de investimento ao longo do período de estudo. O AIRR compara a taxa de investimento de retorno mínima aceitável, que geralmente é igual a taxa de desconto utilizada na análise LCC. O AIRR assume explicitamente que a economia gerada por um projeto pode ser reinvestida à taxa de desconto para o restante período de estudo.

O método mais simples de calcular o AIRR exige que o SIR seja calculado primeiro. Em seguida o AIRR pode ser calculado utilizando a seguinte expressão.

$$AIRR = (1 + r) \cdot (SIR)^{\frac{1}{N}} - 1 \quad (49)$$

O AIRR pode então ser utilizado para tomar os seguintes tipos de decisão (Quadro 36):

Quadro 36 – Critérios de decisão AIRR

Tipo de decisão	AIRR	Critério
Aceitação/Rejeição	Sim	>MARR / <MARR
Nível de eficiência	Não	-
Seleção do sistema	Não	-
Interdependências dos sistemas	Não	-
Projeto prioridade	Sim	Por ordem decrescente

Nota: MARR (minimum acceptable rate or return)

5.2.4. PERÍODO DE RETORNO

A expressão (50) fornece um método simples para se calcular o período de retorno. O cálculo é realizado para todos os anos do período de estudo, permitindo assim verificar que atingido o retorno de investimento não é revertido. A fórmula mais específica para projetos de energia em edifícios pode ser definida como:

$$\Delta I_0 \leq \sum_{t=1}^y \frac{\Delta Repl_t - \Delta Res + \Delta E_t + \Delta W_t + \Delta OM\&R_t}{(1 + d)^t} \quad (50)$$

No entanto como o período de retorno se supõem ser menor que o tempo de vida útil a fórmula pode ser simplificada, ficando:

$$\Delta I_0 \leq \sum_{t=1}^y \frac{\Delta E_t + \Delta OM\&R_t}{(1 + d)^t} \quad (51)$$

O período de retorno é determinado quando as poupanças em valor presente são superiores ao valor de investimento inicial.

5.3. ANÁLISE SE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade é uma prática comum quando os resultados dependem de pressupostos onde o desenvolvimento futuro pode ter um impacto significativo sobre o resultado. Deve-se realizar pelo menos uma análise de sensibilidade para os preços da energia e dois cenários para taxas de desconto [41].

Para a análise de sensibilidade da taxa de desconto para o cálculo macroeconómico, uma das taxas será de 4% expresso em termos reais.

Uma taxa geralmente menor entre 2% a 4%, excluindo a inflação, será a que melhor de reflete os benefícios que investimentos em eficiência energética trazem para os ocupantes do edifício ao longo da vida dos mesmos. Segundo o departamento da Energia dos Estados Unidos da América com a publicação anual do índice e taxa de desconto para o LCC deve-se utilizar uma taxa de atualização de 3%.

É de notar que um efeito do princípio do cálculo financeiro é que para taxas de desconto menores os custos globais são maiores. Uma vez que os custos futuros são descontados a uma taxa menor (principalmente a energia) levando a um valor atual superior dos custos globais.

Na Figura 87 encontra-se a tendência de desenvolvimento do preço da energia a longo prazo. A comissão europeia publica atualizações semestrais destas tendências. Uma atualização mais recente implica um aumento de 2.8% anual no gás e 2.5% para a eletricidade. Esta projeção pode ser extrapolada até 2030 [25]. Estes aumentos são em termos reais, não considerando a inflação.

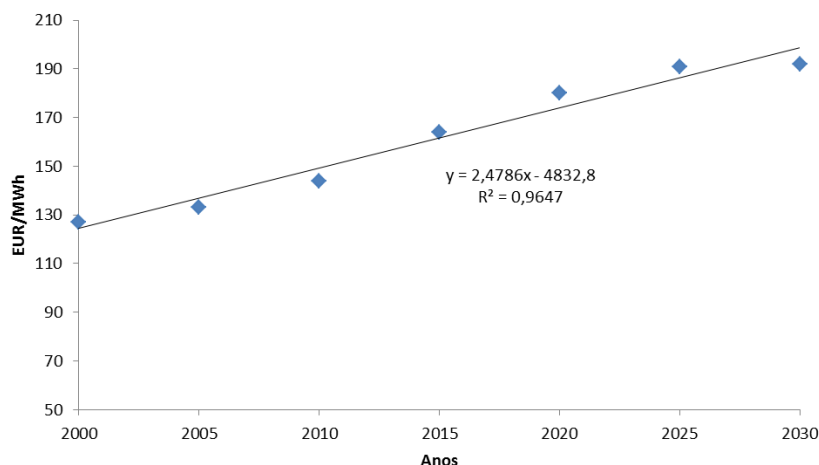


Figura 87 – Previsão da evolução do preço da energia elétrica

Informações sobre as tendências da energia até 2030 podem ser encontradas em “http://ec.europa.eu/energy/observatory/trends_2030/index_en.htm”.

5.4. CASO DE ESTUDO

5.4.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas solares térmicos geralmente são mais caros que a instalação de um sistema convencional de aquecimento de água quente. No entanto podem poupar dinheiro a longo prazo, dependendo dos seguintes aspetos [42]:

- O consumo de água quente;
- O desempenho do sistema;
- A localização geográfica;
- Disponibilidade financeira e incentivos;
- O custo dos combustíveis convencionais.

Em média, ao se instalar um sistema solar, os custos com a energia devem cair entre 50% a 80%. Além disso, como a energia solar ainda é livre não fica sujeita ao aumento de preços. Também devemos considerar os custos da instalação e manutenção. Alguns sistemas podem custar mais a instalar e a manter, variando entre tipos de sistema e às vezes até de modelo para modelo.

Tendo em consideração o exposto será realizada uma análise a diversos sistemas e modelos. A localização geográfica será no Porto, caso de estudo desenvolvida no presente trabalho e em contra partida um local onde a exposição solar será mais favorável (Faro).

A análise de viabilidade económica será realizada para quatro coletores distintos (Quadro 37). Serão divididos por sistema de circulação forçada e termossifão, a sua seleção foi feita tendo em conta a escolha de um coletor com rendimento alto e um baixo, dentro das possibilidades do programa CYPE MEP.

Quadro 37 – Cenários em análise

Alternativa	Tipo de Sistema	Localização	Área Coletor (m ²)	Depósito (litros)
A1	Circulação forçada	Porto/Faro	4,2	300
A2	Circulação forçada	Porto/Faro	3,8	300
A3	Termossifão	Porto/Faro	3,82	300
A4	Termossifão	Porto/Faro	4,2	250

5.4.2. DADOS BASE

Os dados base servem para suportar a análise do ciclo de vida, devendo ser fundamentados e em número e importância suficiente para que tenham significado.

Existindo a obrigação de instalar um coletor que numa base anual tenha uma contribuição maior ou igual a um coletor solar padrão. O objetivo é diminuir o consumo de energia para aquecimento de AQS, utilizando um fonte de energia renovável promovendo a eficiência energética. A solução escolhida deve ter uma cobertura solar mínima de 2202 KWh/ano com exposto no Quadro 38.

Quadro 38 -Cobertura solar mínima (imposição legislativa)

Área abertura (m ²)	Energia (KWh)	Fração solar (%)	Rendimento Global (%)	Produtividade (KWh/m ² coletor)
	Fornecida 2202			
3,25	Carga 3820	57,6	41	677
	Apoio 1618			

Como alternativas serão analisadas quatro soluções que cumprem a cobertura solar mínima. Soluções que não cumprissem essa condição seriam automaticamente excluídas. A descrição das suas características é realizada no Quadro 39.

Quadro 39 – Características dos Coletores

	Circulação Forçada		Termossifão	
Projeto Alternativa	Alternativa A1	Alternativa A2	Alternativa A3	Alternativa A4
Rendimento	0,851	0,67	0,7	0,836
$a_1(\text{m}^2 \cdot \text{K})^1$	4,036	4,3	5,02	3,793
$a_2(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)^2$	0,0108	-	-	0,02
A_u^3	2,1	1,9	1,91	2,1
50°^4	0,95	-	-	0,91

¹ Coeficiente de perdas térmicas² Coeficiente de perdas térmicas³ Área de abertura⁴ Modificador de ângulo para incidência de 50°

Antes de se estabelecer o período de estudo relevante para o LCC das alternativas tem que se definir o ano base. O ano base é o momento para qual todos os custos relacionados com o LCC são descontados. Um método simples é declarar o ano base como o ano de início de serviço da instalação. Isto im-

plica que os custos iniciais ocorrem todos nesse ano e os custos futuros ocorrem durante os subsequentes ao longo do período de estudo. As vezes o período de estudo coincide com a vida útil do projeto, sendo o período máximo de serviço limitado a 25 anos para análises de eficiência energética [27]. Os sistemas solares térmicos podem ter uma vida útil de 15 – 20 anos (valores de referência) [43]. O período de estudo selecionado foi de 15 anos para todas as soluções. Em algum caso deverá ser maior que a vida útil da solução, neste caso seria necessário substituir parcialmente ou totalmente o sistema.

A maior parte dos dados na análise do LCC são provavelmente estimativas, tendo os custos futuros uma incerteza associada. Os custos iniciais de investimento são menos difíceis de estimar, porque são relativamente próximos, podendo ser obtidos a partir de fornecedores locais. No preço do sistema não devem ser incluídos os eventuais sistemas de apoio (o utilizador precisa sempre de um sistema de fornecimento de energia mesmo que não investisse em energia solar).

O valor residual pode ser o valor de revenda ou de eliminação. O valor residual no final da sua vida útil esperado é provável que seja pequeno ou mesmo negativo. Quando o tempo de vida útil é muito longo, o valor residual do sistema original pode ser em grande parte compensada por custos de eliminação. Sendo a estimativa desse valor pouco relevante e incerto para a análise não será considerado na mesma. No caso de um sistema precisar de ser substituído para prolongar o tempo de estudo a análise de valor residual toma maior importância, este prolongamento é fundamental para comparar diversas alternativas.

5.4.3. CUSTOS COM MANUTENÇÃO E ENERGIA

Os sistemas solares térmicos necessitam de inspeções periódicas de manutenção para se manterem em funcionamento de forma eficiente. Além disso os componentes necessitam de reparação ou de substituição. A determinação desses custos é fácil, a sua ocorrência é que é de difícil determinação.

A manutenção pode ser realizada pelo próprio utilizador mas recomenda-se que seja por um técnico qualificado. Como valores de referência são tomados os do Quadro 40.

Quadro 40 - Valores Manutenção [44]

Equipamento	Valores Anuais (C/IVA)
Termossifão telhado plano	78 €
Termossifão telhado inclinado	96 €
Sistema forçado AQS telhado plano	96 €
Sistema forçado AQS telhado inclinado	120 €

O custo de energia do sistema auxiliar de AQS e o tipo de energia utilizado tem um papel preponderante na análise. Por esse mesmo motivo deve-se utilizar valores de mercado. A escolha do tipo de energia passa pela limitação geográfica dos mesmos. A eletricidade, gás propano/butano em garrafa são soluções difundidas, podendo o preço do gás variar de fornecedor para fornecedor. Quanto ao gás natural ainda não é uma solução difundida, mas para caso de exemplo vai se considerar que existe para os dois locais de estudo. No Quadro 41 e Quadro 42 apresenta-se os custos de energia para as diversas fontes.

Quadro 41 - Preços da Energia (Eletricidade)

Energia Ativa		EUR/KWh (s/IVA)	
		Até 6,9 KVA	Acima de 6,9 KVA
Tarifa simples ≤2,3 KVA		0,1210	
Tarifa simples ≥2,3 KVA		0,1405	0,1418
Tarifa bi-horária	Hora fora do vazio	0,1641	0,1674
	Hora de vazio	0,0870	0,0878
Tarifa tri-horária	Horas de ponta	0,1865	0,1899
	Horas de cheia	0,1483	0,1515
	Horas de vazio	0,0870	0,0878

Quadro 42 - Preços da Energia (Gás Natural)

Tipo de Energia	PCI (Kcal/m ³)	(KWh/m ³)	Custo (C/IVA) (€/KWh)
Gás Natural	9249	10,75	0,093

5.5. APLICAÇÃO AO CASO DE ESTUDO

5.5.1. DADOS DE ENTRADA

Tendo em consideração o exposto os dados base para o caso de estudo são os seguintes (Quadro 43):

Quadro 43 - Dados técnicos e económicos para a análise de viabilidade económica

Data Base:	Janeiro 2014		
Data de Serviço:	Janeiro 2014		
Vida Útil:	15		
Substituição:	-		
Valor residual:	Não se Considera		
SPV:	0,64		
Manutenção:	Sistema Circulação Forçada:	120 €/ano	
	Sistema Termossifão:	96 €/ano	
Taxa de desconto:	3%		
UPV fator da Manutenção:	11,94		
Localização:	Porto		
Tipo de Edifício:	Residencial		
Preços de Energia:	Eletricidade: 0.1728 €/KWh		
	Gás Natural: 0,093 €/KWh		
Taxa de atualização energia:	Gás: 2,8%		
	Eletricidade: 2,5%		
UPV*:	Eletricidade: 14,43		
	Gás: 14.77		

Nos quadros seguintes serão apresentados os respetivos custos do sistema e sua análise energética. Todos os dados foram retirados do programa CYPE (Quadro 44).

Quadro 44 - Custos e avaliação energética

Projeto Alternativa	Localização	Energia (KWh)		Área abertura (m ²)	Investimento (€/m ²)
Alternativa A1	Porto	Fornecida	2887,60	4,2	1426,32
		Carga	3944,70		
		Apoio	1057,10		
	Faro	Fornecida	3238,20	4,2	1559,24
		Carga	3944,70		
		Apoio	706,50		
Alternativa A2	Porto	Fornecida	2176,60	3,8	1324,14
		Carga	3944,70		
		Apoio	1768,31		
	Faro	Fornecida	2592,00	3,8	1443,89
		Carga	3944,70		
		Apoio	1352,70		
Alternativa A3	Porto	Fornecida	2387,00	3,84	733,96
		Carga	3944,70		
		Apoio	1557,70		
	Faro	Fornecida	2807,30	3,84	805,88
		Carga	3944,70		
		Apoio	1137,40		
Alternativa A4	Porto	Fornecida	2863,40	4,2	540,52
		Carga	3944,70		
		Apoio	1081,30		
	Faro	Fornecida	3217,60	4,2	592,2
		Carga	3944,70		
		Apoio	727,10		

5.5.2. CUSTO DE CICLO DE VIDA

O custo de ciclo de vida para as diferentes alternativas é apresentado no Quadro 45 com os respetivos fatores medidores do desempenho. Todas as alternativas são comparadas com um caso base. Este caso base é o sistema auxiliar do sistema solar, considerando que não existe nenhuma contribuição solar.

Quadro 45 - Custo ciclo de vida

Projeto Alternativo	LCC	NS	SIR	AIRR	Retorno	Ranking
Energia Auxiliar (Eletricidade)						
B	10651,87	-	-	-	-	-
A1	10425,23	226,6341	1,04	3,26%	15	3
A2	11350,01	-698,148	0,86	1,98%	>15	4
A3	8091,41	2560,46	1,91	7,53%	9	2
A4	6281,05	4370,816	2,93	10,64%	6	1
Energia Auxiliar (Gás Natural)						
B	6709,23	-	-	-	-	-
A1	9372,16	-2662,93	0,56	-0,96%	>15	3
A2	9585,46	-2876,23	0,43	-2,66%	>15	4
A3	6532,65	176,5808	1,06	3,42%	>15	2
A4	5199,02	1510,213	1,67	6,56%	9	1

Para períodos de retorno superior a 15 anos o sistema é inviável, sendo superior à vida útil do mesmo. A maior taxa interna de retorno traduz-se numa maior poupança de energia, de entre as soluções a A4 é a que apresenta a melhor relação custo – benefício.

5.5.3. PERÍODO DE RETORNO

Utilizando a expressão (51) podemos calcular o retorno do investimento (Quadro 46). Como o período de retorno deve em princípio ser inferior a vida útil podemos cortar alguns termos da expressão, ficando:

$$\Delta I_0 \leq \sum_{t=1}^y \frac{\Delta E_t + \Delta OM\&R_t}{(1 + d)^t}$$

$$\Delta E = (E_B - E_A) \cdot (1 + e)^t$$

$$\Delta OM\&R = OM\&R_B - OM\&R_A$$

Como estamos a comparar uma solução com um caso base que teria de existir com ou sem sistema solar os custos de manutenção do caso base não serão considerados. Para o primeiro ano temos:

$$\Delta E = (440,29 - 117,99) \cdot (1 + 0,028)^1 = 323,33 \text{ €}$$

$$\Delta OM\&R = 96 \text{ €}$$

$$\frac{323,33 - 96}{(1 + 0,03)^1} = 220,71 \text{ €}$$

Energia Anual Salva: 322,20 €

Custos adicionais de OM&R: 96 €

Investimento Adicional: 2270,17 €

Quadro 46 – Retorno Investimento

Ano	Valor Acumula Energia $\sum \Delta E_t$ (€)	$\Delta OM\&R_t$ (€)	$\frac{\Delta E_t + \Delta OM\&R_t}{(1+d)^t}$ (€)
1	323,33	-96,00	220,71
2	646,69	-96,00	519,08
3	970,08	-96,00	799,91
4	1293,50	-96,00	1063,97
5	1616,96	-96,00	1311,99
6	1940,44	-96,00	1544,69
7	2263,96	-96,00	1762,75
8	2587,51	-96,00	1966,82
9	2911,10	-96,00	2157,54
10	3234,72	-96,00	2335,50
11	3558,38	-96,00	2501,29
12	3882,07	-96,00	2655,48
13	4205,81	-96,00	2798,58
14	4529,59	-96,00	2931,12
15	4853,40	-96,00	3053,60

O retorno de Investimento ocorre no 10 ano.

Quando representamos o valor atualizado ao longo do tempo demos podemos determinar o período de retorno na interceção do caso base com as alternativas (Figura 88).

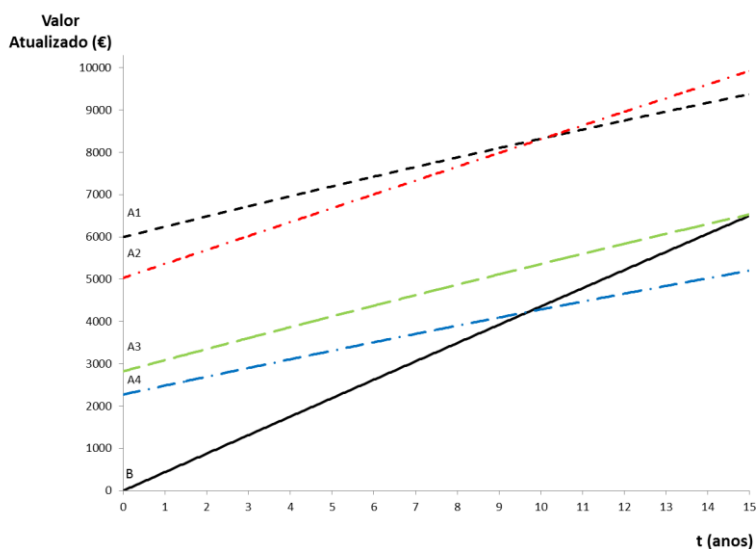


Figura 88 - Fluxos financeiros (Gás natural) - Porto

Com a mudança de localização o investimento inicial foi maior em Faro. Acompanhado de um aumento da fração solar e diminuição do custo de ciclo de vida das respetivas soluções (Figura 89).

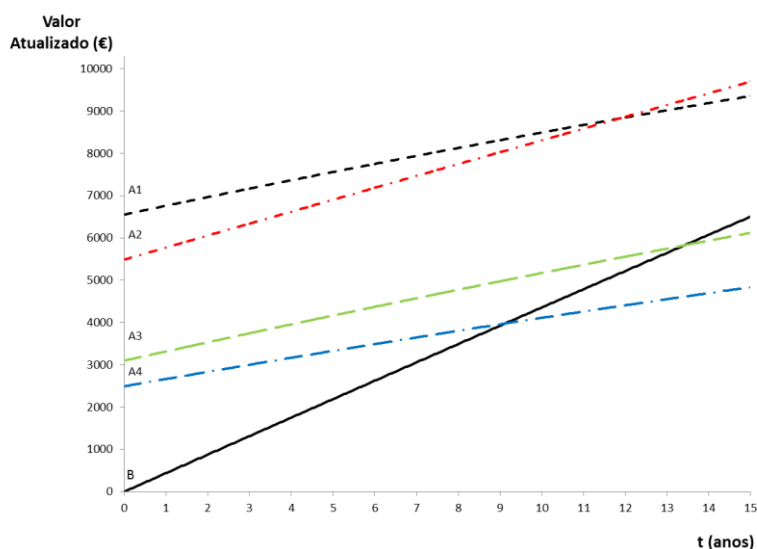


Figura 89 - Fluxos financeiros (Gás natural) - Faro

O período de retorno da alternativa A4 como se pode constatar nos fluxos de caixa esta próximo dos 9 anos. Quando uma alternativa tem um maior custo de investimento esperamos que reduza os custos operacionais. Uma vez que a soma dos custos de investimento mais os custos operacionais (incluindo os custos de energia) é menor que outra alternativa. Nos sistemas solares para edifícios de habitação unifamiliar o aumento do custo de investimento inicial nem sempre se traduz numa diminuição dos custos operacionais e a poupança gerada em alguns casos não é suficiente para amortizar o investimento adicional (Figura 90).

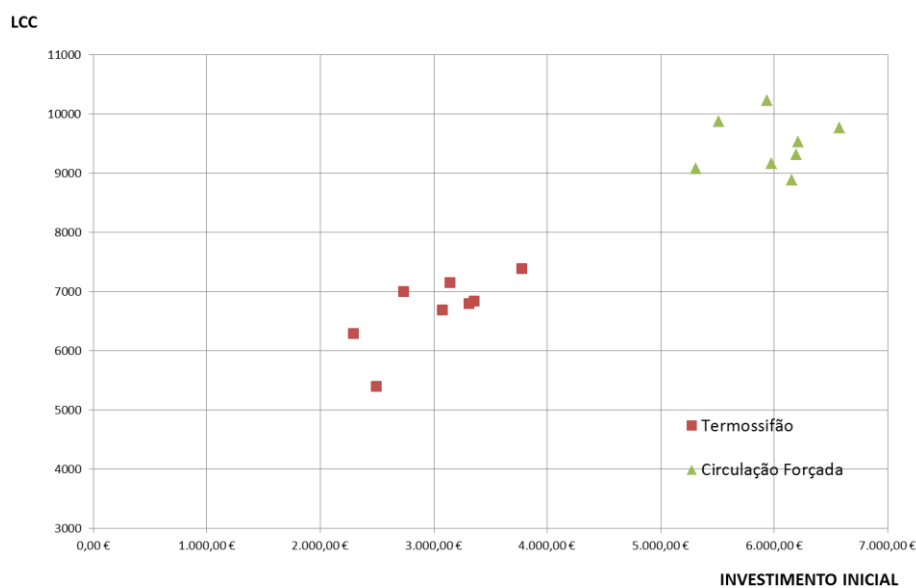


Figura 90 – Relação investimento - LCC

5.5.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise económica é especialmente sensível ao cenário económico escolhido. O cenário escolhido tanto pode viabilizar um investimento como o contrário.

A variação do preço no tempo está ligada à taxa de atualização. Sendo uma variável com incerteza torna-se importante avaliar a sua influência na análise. Foi considerada uma taxa de atualização variável e uma taxa de variação de energia constante (Quadro 47). Com esta variação pretende-se avaliar a sua importância no cálculo do LCC.

Quadro 47 – Análise de Sensibilidade (Taxa de Desconto)

Taxa Variação Energia:	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%	2,80%
Taxa desconto:	5,00%	4,00%	3,00%	2,00%	1,00%	0,50%
Caso Alter (A1)						
NS	-3136,45	-2912,62	-2662,93	-2382,14	-2069,43	-1900,15
SIR	0,48	0,51	0,56	0,60	0,65	0,68
AIRR	-1,97%	-1,47%	-0,96%	-0,42%	0,13%	0,41%
Caso Alter (A2)						
NS	-3187,06	-3040,21	-2876,23	-2691,46	-2485,89	-2374,54
SIR	0,37	0,40	0,43	0,47	0,51	0,53
AIRR	-3,67%	-3,17%	-2,66%	-2,12%	-1,57%	-1,29%
Caso Alter (A3)						
NS	-248,44	-47,51	176,58	428,48	709,08	860,96
SIR	0,91	0,98	1,06	1,15	1,25	1,31
AIRR	2,37%	2,88%	3,42%	3,98%	4,55%	4,85%
Caso Alter (A4)						
NS	976,18	1228,69	1510,21	1826,46	2178,84	2369,53
SIR	1,43	1,54	1,67	1,80	1,96	2,04
AIRR	5,49%	6,01%	6,56%	7,13%	7,73%	8,03%

Quanto maior forem as taxas menor será a poupança líquida. O caso alternativo A1 e A2 não são viáveis economicamente para quaisquer cenários. A alternativa A3 só se torna viável para taxas menores. A alternativa A4 é a única com viabilidade económica em todos os cenários económicos (Figura 91). O valor do LCC tem uma tendência linear com o aumento/diminuição da taxa. O caso base é mais sensível à variação da taxa de desconto, tendo como principal custo a energia na presente análise.

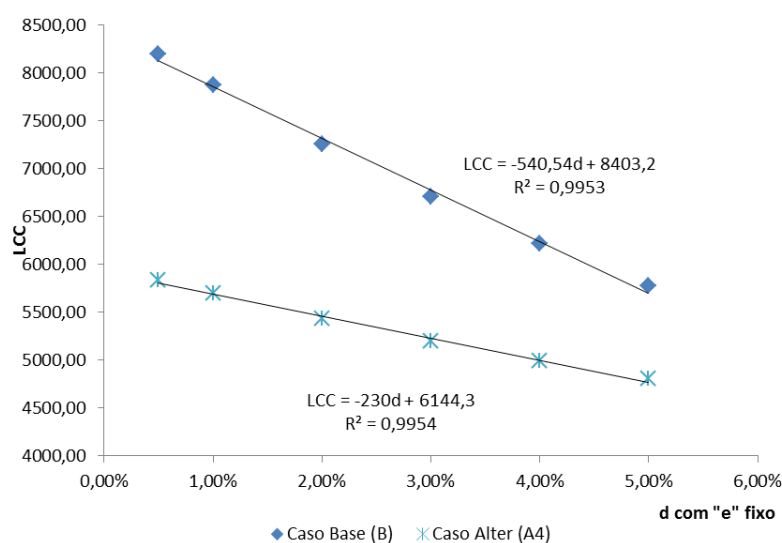


Figura 91 – Sensibilidade LCC VS Taxa de Desconto

A variação do preço no tempo também está ligada à taxa de atualização da energia. Sendo uma variável com incerteza torna-se importante avaliar a sua importância na análise. Foi considerada uma taxa de atualização da energia variável, com a taxa de desconto constante (Quadro 48).

Quadro 48 - Análise de Sensibilidade (Taxa Variação Energia)

Taxa Variação Energia:	4,00%	2,80%	2,00%	1,00%	0,5%
Taxa desconto:	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%	3,00%
Caso Alter (A1)					
NS	-2195,59	-2662,93	-2946,56	-3275,31	-3430,01
SIR	0,63	0,56	0,51	0,45	0,43
AIRR	-0,09%	-0,96%	-1,55%	-2,29%	-2,67%
Caso Alter (A2)					
NS	-2523,96	-2876,23	-3090,02	-3337,82	-3454,44
SIR	0,50	0,43	0,39	0,34	0,31
AIRR	-1,67%	-2,66%	-3,34%	-4,21%	-4,67%
Caso Alter (A3)					
NS	583,13	176,58	-70,16	-356,14	-490,73
SIR	1,21	1,06	0,98	0,87	0,83
AIRR	4,30%	3,42%	2,83%	2,08%	1,69%
Caso Alter (A4)					
NS	1993,87	1510,21	1216,68	876,46	716,35
SIR	1,88	1,67	1,54	1,39	1,32
AIRR	7,42%	6,56%	5,99%	5,27%	4,90%

Com o aumento da taxa de atualização da energia e a taxa de desconto constante o custo de ciclo de vida da solução aumenta. O aumento é maior não caso base tendo como principal custo a energia na presente análise (Figura 92).

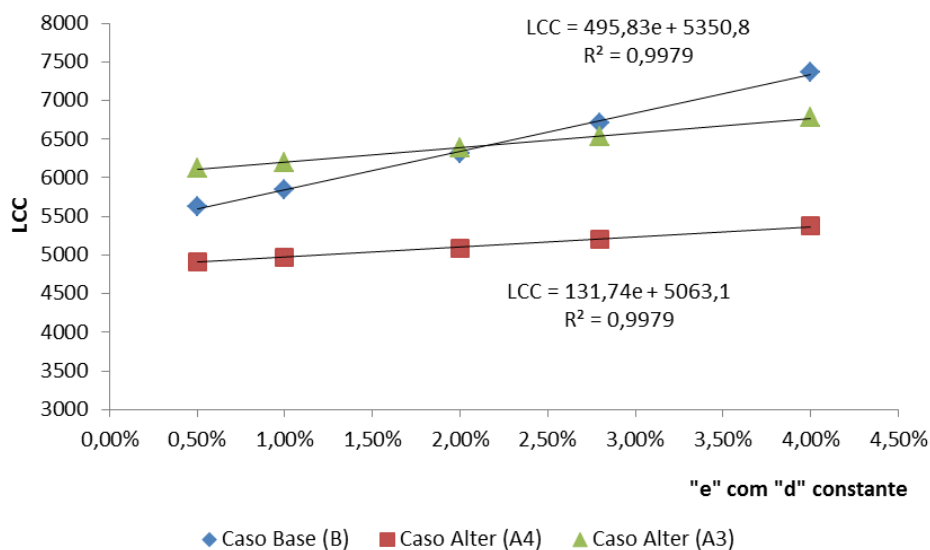


Figura 92- Sensibilidade LCC VS Taxa de atualização energia

A poupança líquida (NS) permite medir o desempenho económico de um projeto, principalmente na redução de custos com energia. Quando se tem um NS igual a zero significa que não houve perdas nem ganhos com o investimento. Este fator vai ser utilizado para definir o preço mínimo da energia para um investimento parcial (sem perdas e ganhos).

No Quadro 49 expressa-se a relação entre o preço da energia e os diferentes sistemas. A rentabilidade económica de alguns sistemas está diretamente ligada ao tipo e preço de energia que se considera na análise.

Quadro 49 - Preço da Energia Mínimo

Projeto Alternativo	Preço da Energia (€/KWh)			
	0,0145	0,167	0,088	0,063
A1	0	1152,8	-2877	-4186
A2	-869	0	-3037	-4024
A3	2377,9	3330,8	0	-1082
A4	4150,8	5294	1298,4	0

5.5.5. APURAMENTO DA VIABILIDADE ECONÓMICA - LEGISLAÇÃO

Segundo o Despacho (extrato) n.º15793-L/2013 é definida uma metodologia de apuramento da viabilidade económica. Este despacho faz referência ao desempenho energético dos edifícios de comércio e serviço. Segundo este as medidas de eficiência energética são de implementação obrigatória quando se demonstre que:

- Não existem evidentes constrangimentos ou limitações técnicas, legais ou administrativas à instalação.
- O período de retorno simples (PRS) seja igual ou inferior a 8 anos.

O valor de PRS é dado pela expressão $PRS=C/P$ com:

- O valor de (C) corresponde a totalidade dos custos de investimento;
- O valor de (P) corresponde à poupança anual resultante da aplicação da medida em estudo, sendo determinado com base em simulações anuais, detalhadas do funcionamento do edifício e seus sistemas técnicos ou por cálculo anual simples;
- Os custos da energia são os constantes e iguais aos do momento do investimento;
- Não são considerados os custos financeiros, nem efeitos da inflação.

Aplicando ao caso de estudo (Quadro 50):

Quadro 50 - Apuramento da viabilidade económica

Alternativa	Gás Natural			Eletricidade	
	Investimento (C)	Poupança Anual (P)	PRS	Poupança Anual (P)	PRS
A1	5990,56	202,3	30	410	15
A2	5031,72	279,6	40	279,6	18
A3	2818,42	170,4	17	342,2	8
A4	2270,17	223,6	10	429,7	5

A alternativa A4 é a única que cumpre a condição para os dois tipos de energia. Comparando o período de retorno simples com o período de retorno calculado existir diferenças, não sendo significativas. É justificado pelo facto de a taxa de desconto e de atualização da energia utilizadas no cálculo do LCC serem quase idênticas.

6

CONCLUSÕES

A radiação solar incidente sobre uma superfície varia ao longo do ano e da localização da instalação. Entre o Porto e Faro existem diferenças entre a radiação solar incidente, traduzindo-se numa maior fração solar (energia disponível) a Sul do país.

Nos edifícios unifamiliares o consumo de água quente sanitário tem como referência os 40 l/pessoa a uma temperatura de 60°C. Tanto o consumo diário como a temperatura de consumo têm um impacto significativo no desempenho dos sistemas solares. A diminuição da temperatura de consumo aumenta o rendimento do sistema. O fator humano define o perfil de consumo, definindo a utilização espacial do mesmo.

No que diz respeito ao dimensionamento da instalação houve um desenvolvimento na legislação que permitiu uma otimização das soluções adotadas. A imposição é feita numa base de fração solar mínima que irá conduzir a uma área dependendo da área dos painéis. Quando estamos a dimensionar um sistema de pequena e grandes dimensões existem diferenças no rendimento dos sistemas, apresentando um sistema de grande dimensão um rendimento superior. A escolha do número de coletores deve ser otimizada para um máximo rendimento do sistema, constatou-se que o aumento do número de coletores não se traduz numa vantagem energética significativa, conduzindo a um investimento inicial maior e a uma menor rentabilidade do sistema, proporcionando uma maior probabilidade de ocorrência de temperaturas de estagnação.

Nos edifícios multifamiliares são aplicados dois tipos de sistemas, circulação forçada e termossifão. De entre os sistemas existentes podem-se distinguir entre circuito direto ou indireto. Os sistemas diretos tendem a deixar de ser utilizadas devido a incrustações nas tubagens dos coletores. Neste dois casos podem ser utilizados coletores planos com ou sem cobertura transparente, os mais recorrentes e recomendados são os coletores planos com cobertura transparente. Os sistemas de circulação forçada apresentam um rendimento superior mas também são mais caros. Quando se dimensiona um sistema de circulação forçada deve-se utilizar coletores com grande rendimento e um depósito de acumulação vertical. A utilização de um depósito vertical promove a estratificação da água, aumentando a eficiência do sistema. Contudo não é o único fator a ter em consideração, são precisos cuidados especiais para que o efeito de estratificação não seja destruído. Muitas vezes os fabricantes não referem esses pormenores na sua ficha técnica. Os sistemas de termossifão são sistemas mais simples e baratos, estão condicionados ao número de painéis ligados em paralelo e o depósito de acumulação deve ficar localizado na parte superior do mesmo para evitar fenómenos de sifonagem invertida.

No que respeita aos componentes dos diversos sistemas como já foi referido o sistema de circulação forçada são mais complexos. Exigem diversos componentes adicionais com um controlador e bomba de circulação. Os sistemas de controlo podem ser mais ou menos complexos, devendo em todo o caso ser restringidos ao essencial primando que contribuem para uma maior eficiência do sistema. As bom-

bas de circulação são dimensionadas para pequenos caudais e alturas de elevação pequenas. Devem ser de preferência de caudal variável para otimizar a permutação de calor.

No estudo de viabilidade económica calculou-se o custo de ciclo de vida de quatro soluções mutuamente exclusivas. O estudo assenta sobre diversos fatores que são expectativas pessoais, podendo apresentar grande incerteza. Por este motivo torna-se importante a realização de um estudo de sensibilidade. O tipo de energia utilizada pode tornar um sistema viável ou inviável, dependendo do seu preço por KWh. O agravamento dos preços de energia dão ênfase a viabilidade económica dos sistemas solares. De entre os casos estudados constatou-se que um investimento adicional, não se traduz necessariamente num menor custo de ciclo de vida. No caso dos edifícios unifamiliares o sistema de termossifão tem maior viabilidade económica apesar de ser menos eficiente. Tal fato deve-se ao menor custo de investimento inicial que é amortizado no período de vida útil do sistema considerado.

Os custos dos sistemas de circulação forçada são demasiado altos para o acréscimo de rendimento verificado. Nos estudos de viabilidade económica o período de retorno deve ser sempre inferior a vida útil do mesmo. Sendo que para um período inferior o sistema já se torna viável (tendo sempre em consideração o cenário económico para qual foi estudado). Claro que um período de retorno demasiado alto pode não ser atrativo para quem está a investir, mas não existe limite mínimo para o período de retorno aceitável. Existe sempre a obrigação da sua instalação fora as exceções prevista na legislação. A nova legislação faz referência a um cálculo simplificado do período de retorno simplificado como fator limitativo à implementação de uma solução de eficiência energética, mas está previsto para os edifícios de serviço e comércio.

Sendo uma tecnologia relativamente recente já apresenta um estado de maturação, mas ainda existe trabalho a ser realizado quanto à melhoria da eficiência dos mesmos tornando os sistemas mais barato e atrativo.

Sendo a utilização de sistemas solares térmicos de caris obrigatório, sugere-se para trabalhos futuros um estudo de um sistema para uma habitação multifamiliar, a sua integração com as restantes instalações do edifício como vista a otimizar a sua utilização.

BIBLIOGRAFIA

- [1] [https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/234766/1/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra\(01\).pdf](https://dspace.ist.utl.pt/bitstream/2295/234766/1/Texto%20Apoio%20Mov.Sol-Terra(01).pdf).
- [2] Rodrigues AHD, Piedade ACCd, Braga AM. *Térmica de edifícios*. Alfragide: Edições Orion; 2009.
- [3] http://aprendegeografia.no.sapo.pt/recursos_radiacao_solar.html.
- [4] http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_publication.png.
- [5] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.
- [6] Miranda MAC. *Optimização de sistemas solares térmicos*. Porto: [s. n.]; 2008.
- [7] Komeco - Manual de Instalação. http://www.solarforte.com.br/manuais/manual_solar_komeco.pdf.
- [8] Energia Solar térmica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação. p. <http://www.greenpro.de/po/solartermico.pdf>.
- [9] INETI - Instalações Solares Térmicas. <http://www.marioloureiro.net/tecnica/energSolar/SolarTermico2007INETI.pdf>. Janeiro 2007.
- [10] <http://www.gudenergy.pt/htm/SolarTermico.htm>.
- [11] <http://www.dern.pt/index.php?pg=18>.
- [12] Eduardo Perez JCC. *Instaladores de Equipamentos Solares Térmicos - Conversão Térmica da Energia Solar*.
- [13] Portaria n.º 349-B/2013.
- [14] Documento Básico HE - Ahorro de Energía. 2009.
- [15] <http://resulsolar.4porquatro.com/doc.php?co=212>.
- [16] <http://www.mecalia.com/pt/2/22/22/depositos-de-aqs-e-circuito-fechado/interacumulador-vitrificado-serpentina-espiral-para-colocac%C3%83o-mural>.
- [17] VULCANO - Depósitos, Soluções de Água Quente. http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/aquecimento_central_e_a_qs/vu_cat_depositos_2010.pdf. Novembro 2010.
- [18] Energy USDo. *Heat Transfer Fluids for Solar Water Heating Systems*. Maio 2013.
- [19] WURTH. Glicol Solar. <http://www.wurth.pt/frontend/media/pdf/07146P.pdf>. 2012.
- [20] <http://www.emmeti.com.br/vaso-de-expansao.asp>.
- [21] http://www.wilo.pt/inicio/produtos-e-campos-de-aplicacao/aquecimento-ar-condicionado-e-refrigeracao/solar-termico/#.UsSH-_RdV1Z.
- [22] CALEFFI. Componentes para Instalações Solares. http://www.caleffi.pt/pt_PT/caleffi/Details/News/files/03117_pt.pdf.
- [23] Caleffi Solar . Componentes para Instalações Solares térmicas. http://www.caleffi.pt/pt_PT/caleffi/Files/giudes/files/03117_pt.pdf. Fevereiro 2011.
- [24] VULCANO - Instruções de funcionamento e instalação, Regulador Solar. http://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/folhetos_2/solar_4/central_de_controlo_b-sol_100.pdf.
- [25] UNE 100030 IN - Guía para la prevención y control de la proliferación y diseminación de legionela en instalaciones.

- [26] Cálculo de Instalaciones Solares Térmicas. Método F-Chart.
<http://www.scalofrios.es/Calor/Solartermica/software/f-chart.pdf>
- [27] Sieglinde K. Fuller, Petersen SR. LIFE-CYCLE COSTING MANUAL, for the federal energy management program. U.S. Department of Commerce; 1995 Edition.
- [28] Instrucción UNE 100 - 154 - 88. <http://www.general-files.org/download/gs4fec822h32i0/UNE-100-155-88-VE.pdf.html>. Febrero 1988. p. Climatización - Calculo de vasos de Expansion.
- [29] White FM. Fluid mechanics. McGraw-Hill/Higher Education: Boston [etc.]; 2008.
- [30] Proyecto de instalación climatización y producción de acs solar para hogar del jubilado (alboraya).
http://www.alboraya.org/icons/WebAyto/Images/Adjuntos/Perfil_Contratante/hogarJubilado/climatizacion.pdf.
- [31] Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) -Instrucción Técnica ITE 3.
- [32] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril.
- [33] Perguntas & Respostas sobre o RCCTE. http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/PerguntasRespostas/Documents/PR_RCCTE_20.pdf.
- [34] BUDERUS - Tecnologia Solar Logasol.
<http://www.buderus.pt/files/201210261637270.Folheto%20Tecnologia%20Solar%20Logasol.pdf>.
- [35] INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.) - Manual Solterm versão 5.0,.
- [36] SOUTO&OSÓRIO,SA - Tubos e acessórios de cobre.
http://soutoosorio.pt/WebRoot/Store/Shops/SOUTO_OSORIO_SA_9004528/4F7B/0052/40CA/C773/C468/0AA2/7707/0DCC/modelo_07_web.pdf
http://soutoosorio.pt/WebRoot/Store/Shops/SOUTO_OSORIO_SA_9004528/4F7B/0052/40CA/C773/C468/0AA2/7707/0DCC/modelo_07_web.pdf
- [37] VULCANO - Instruções de Montagem - Coletores planos. https://vulcano-pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/folhetos_2/solar_4/2013_1/coletores/fcb_fcc_sobre_telhado.pdf.
- [38] VULCANO - Instruções de Instalação - Termossifão para telhados planos e inclinados.
https://vulcano.pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/folhetos_2/solar_4/2013_1/termossif_o/termossifo_150l__200l__300l_fcb_fcc.pdf.
- [39] VULCANO - Solar Térmico.
https://vulcano.pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/solar/net_catlogo_solar_trmico~1.pdf. 2013.
- [40] VULCANO - Esquentadores, Sensor Compacto.
http://vulcano.pt.resource.bosch.com/media/vulcano/documenta__o/cat_logo_de_produtos/esquentadores/net_cat_gama_sensor_compacto_18.pdf.
- [41] Union E. NOTICES FROM EUROPEAN UNION INSTITUTIONS, BODIES, OFFICES AND AGENCIES. Official Journal of the European Union. 2012.
- [42] Estimating the Cost and Energy Efficiency of a Solar Water Heater. 2012.
- [43] VULCANO - Perguntas Frequentes. <http://www.vulcano.pt/consumidor/ajuda/faqs/faqs>.
- [44] VULCANO - Manutenção.
https://www.vulcano.pt/area_profissional/servicos_profissionais/pos_venda_profissionais/manutencao_profissionais/manutencao/-secured. 2012.
- [45] MEGlobal. Ethylene Glycol - Product Guide.
http://www.meglobal.biz/media/product_guides/MEGlobal_MEG.pdf.

ANEXOS

A1

MÉTODO F-CHART

CÁLCULO DE INSTALAÇÕES SOLARES TÉRMICAS. MÉTODO F-CHART

Para o dimensionamento das instalações solares térmicas pode ser utilizado o método das curvas (F-Chart). Este permite calcular a cobertura solar do sistema. Amplamente aceite como um processo de cálculo suficientemente exato para largas estimativas, não dá para aplicações semanais ou diárias.

Para o cálculo utilizam-se valores médios mensais da radiação solar, sendo perfeitamente válido para a determinação do rendimento, do fator solar das instalações solares em qualquer tipo de edifício, mediante captadores solares planos. A sua aplicação sistemática consiste em identificar as variáveis adimensionais do sistema solar.

A expressão utilizada no método pode ser apreciada na seguinte expressão:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3 \quad (52)$$

Para valores de D_1 , D_2 compreendidos entre:

$$0 < D_1 < 18 \quad 0 < D_2 < 3 \quad (53)$$

A energia útil para cada mês poderá então ser calculada por:

$$Q_u = f \cdot Q_a \quad (54)$$

O consumo de água quente é uma função dos hábitos de cada consumidor e entram em consideração fatores socioculturais que se tem que ter em consideração. A sua distribuição ao longo do dia caracteriza-se pelo seu perfil de consumo. No método f-Chart o perfil de consumo considerado é o da Figura 93.

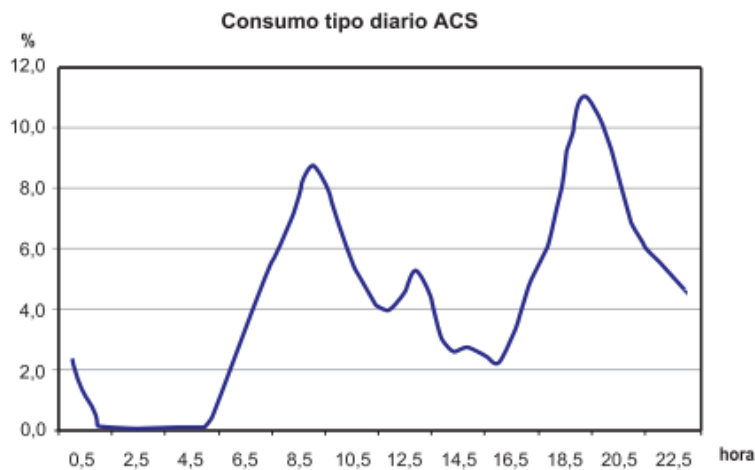


Figura 93 - Perfil de consumo utilizado no método F-Chart

A energia mensal para aquecimento de AQS a temperatura de consumo é determinada segundo a seguinte expressão.

$$Q_a = M_{AQS} \cdot c_p \cdot \rho_{\text{água}} \cdot (\theta_{cal} - \theta_{red}) \cdot n_d \quad (55)$$

Q_a - Necessidades médias mensais de energia (KJ/mês)

M_{AQS} - Consumo diário de água quente sanitária (l/dia)

c_p - Calor específico da água ($4,187 \text{ KJ}/(\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$)

$\rho_{\text{água}}$ - Massa específica da água (Kg/m^3)

θ_{cal} - Temperatura da água para consumo ($^\circ\text{C}$)

θ_{red} - Temperatura média mensal da água da rede ($^\circ\text{C}$)

n_d - Número de dias do mês

Também se devem adicionar as perdas que se produzem no sistema, principalmente as localizadas no depósito de acumulação e nas tubagens. Então as necessidades totais serão de:

$$Q_{NEC} = Q_a + Q_{perdas} \quad (56)$$

O parâmetro D_1 expressa a relação entre a energia absorvida pelo coletor e a carga calorífica total do mês.

$$D_1 = \text{Energia absorvida pelo coletor} / \text{Carga calorífica mensal} \quad (57)$$

A energia absorvida pelo coletor é dada pela seguinte expressão:

$$E_a = A_c \cdot F'_r \cdot (\tau\alpha) \cdot I_g \cdot n_d \quad (58)$$

Onde:

A_c - Superfície de captação (m^2)

I_g - Radiação diária média mensal incidente sobre a superfície de captação por unidade de área (KJ/m^2)

n_d - Número de dias do mês.

$F'_r \cdot (\tau\alpha)$ - Fator adimensional, que é calculado pela seguinte expressão.

$$F'_r \cdot (\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n [(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n] (F'_r/F_r) \quad (59)$$

Onde:

$F_r(\tau\alpha)_n$ - Fator de eficiência ótica do coletor, ordenada na origem da curva característica do coletor.

$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ - Modificador do ângulo de incidência. Em geral se pode considerar como constante: 0,96 (superfície transparente simples) ou 0,94 (superfície transparente dupla)

F'_r/F_r - Fator de correção do conjunto captador-permutador. Considera-se um valor de 0,95

O parâmetro D_2 expressa a relação entre as perdas térmicas de energia no coletor, para uma determinada temperatura, e a carga calorífica total do mês.

A energia perdida pelo coletor para produção de AQS é calculada pela seguinte expressão:

$$E_p = A_c \cdot F'_r \cdot U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (60)$$

Onde:

A_c - Superfície de captação (m^2)

$$F'_r \cdot U_L = F_r \cdot U_L \cdot (F'_r / F_r)$$

$F_r \cdot U_L$ - Pendente da curva característica do coletor (coeficiente global das perdas do coletor)

t_a - Temperatura média mensal do ambiente ($^{\circ}C$)

Δt - Período de tempo considerado em segundos (s)

K_1 - Fator de correção por para o depósito de acumulação que se obtém a partir da seguinte expressão:

$$K_1 = [\text{volume depósito} / 75 \cdot A_c]^{-0,25}$$

$$37,5 < (\text{volume depóstio}) / (A_c) < 300$$

K_2 - Fator de correção, que relaciona a temperatura mínima de AQS, a da água de reposição e a média mensal do ambiente, calculado pela seguinte expressão:

$$K_1 = (11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_r - 2,32 \cdot t_a) / (100 - t_a)$$

Onde:

t_{ac} - Temperatura mínima da AQS

t_r - Temperatura da água da rede

t_a - Temperatura média mensal do ambiente

Uma vez obtidos D_1 e D_2 , aplicando a expressão inicial calcula-se a fração solar mensal do sistema solar.

A2

CÁLCULO COEFECIENTE VISCOSIDADE

Cálculo coeficiente de viscosidade fluido solar

Para a água e uma faixa de temperatura de $0 \leq T \leq 100^\circ\text{C}$ o coeficiente de viscosidade pode ser calculado por: [29]

$$\ln \frac{\mu}{1,788 \cdot 10^{-3}} \approx -1,704 - 5,306 \cdot \left(\frac{273}{273+15} \right) + 7,003 \cdot \left(\frac{273}{273+15} \right)^2 \Leftrightarrow \mu = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

No caso do Etileno glicol a viscosidade com a temperatura pode ser ajustada á expressão empírica:

$$\frac{\mu}{2,14 \cdot 10^{-2}} \approx e^{11,7 \cdot \left(\frac{293}{273,15+15} - 1 \right)} \Leftrightarrow \mu = 2,622 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

A mistura de água com etileno glicol não apresenta uma variação linear da viscosidade em função da percentagem da solução. Na Figura 94 podem ser encontrados valores da viscosidade cinemática absoluta da mistura em função da sua percentagem e temperatura.

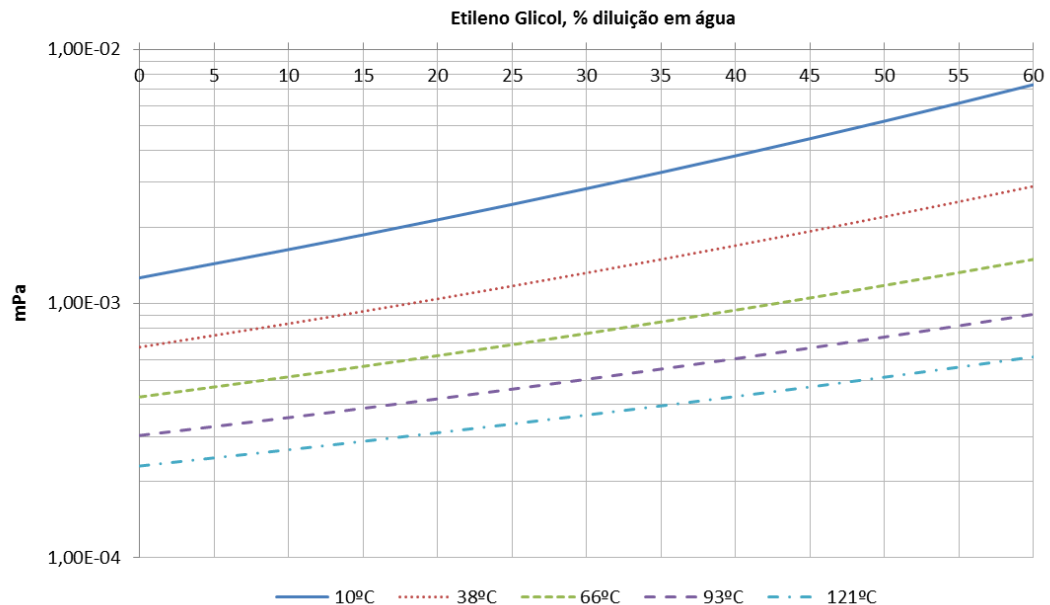


Figura 94 - Viscosidade absoluta da mistura de água – etileno glicol [45]

Com um concentração de anticongelante de 30% temos um coeficiente de viscosidade de:

$$\mu = 2,56 \cdot 10^{-3} \text{ Kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$$

$$v = \frac{2,56 \cdot 10^{-3}}{1000} = 2,564 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

A3

DESENHOS

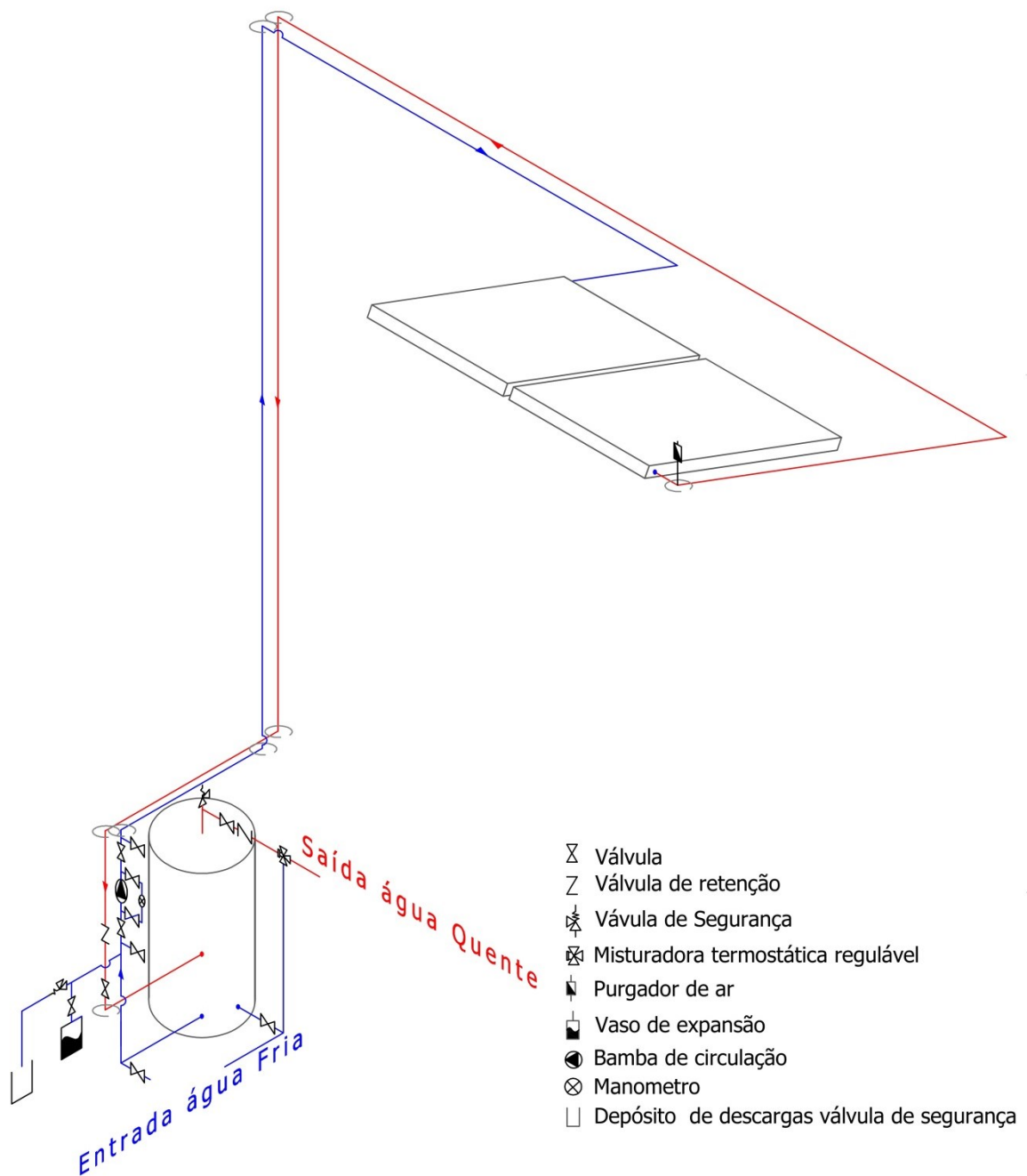


Figura 95 - Axiometria

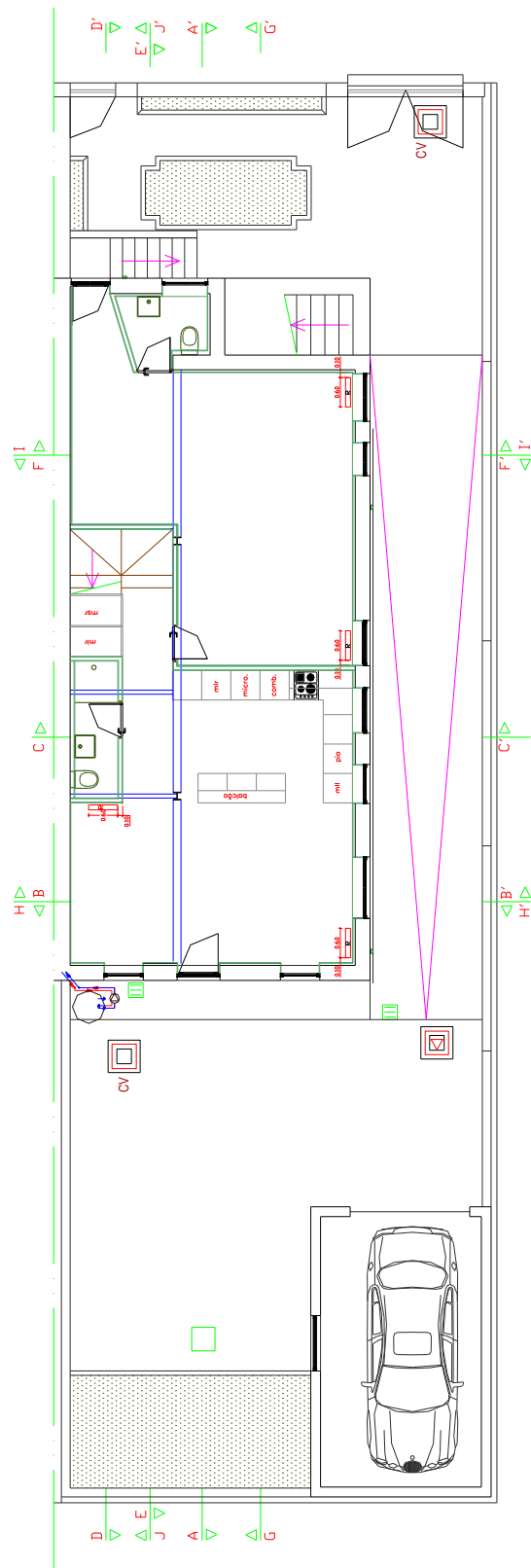


Figura 96 - Planta R/Chão

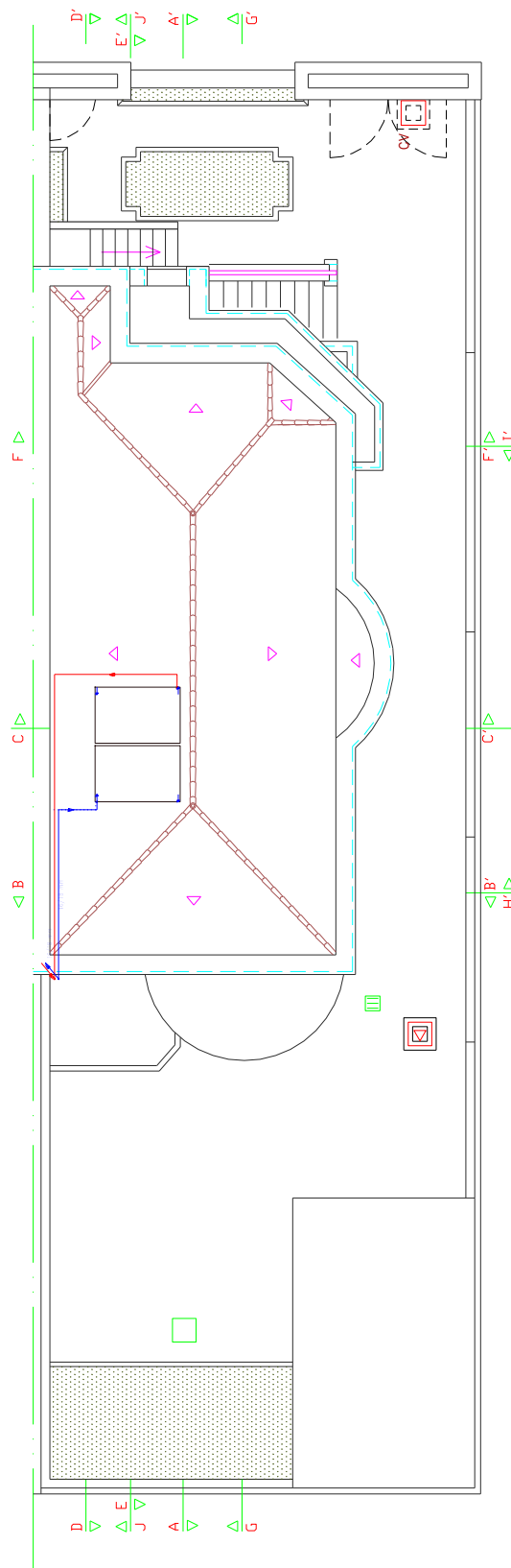


Figura 97 - Planta Cobertura

